



Pedro Mendes Aleluia Martins da Palma

Licenciatura em Ciências de Engenharia do Ambiente

**Mapeamento das necessidades de
energia para aquecimento e
arrefecimento ao nível das freguesias
em Portugal: implicações para a análise
do conforto térmico nas habitações**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia de Sistemas Ambientais

Orientador: Professora Doutora Maria Júlia Fonseca Seixas,
Professora Auxiliar com Agregação, FCT-UNL

Coorientador: Mestre João Pedro Gouveia, Mestre, FCT-UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

[Julho 2017]

Mapeamento das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento ao nível das freguesias em Portugal: implicações para a análise do conforto térmico nas habitações

© Copyright em nome de Pedro Mendes Aleluia Martins da Palma, da FCT/UNL e da UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Agradeço à Professora Doutora Júlia Seixas, pela oportunidade em ter realizado a dissertação sobre a sua orientação, pela ajuda na definição do tema, pela sua disponibilidade e importante análise crítica na revisão do trabalho.

Gostaria igualmente de expressar a minha gratidão ao Engenheiro João Pedro Gouveia, coorientador da dissertação, pela disponibilidade, pela grande ajuda ao longo destes meses, pela motivação diária e espírito positivo, e pelas preciosas críticas e sugestões que me permitiram produzir um trabalho de melhor qualidade.

Agradeço à Engenheira Sofia Simões, pela disponibilidade no esclarecimento de dúvidas pontuais com que me deparei.

O meu agradecimento à colega Cláudia Oliveira, pela partilha científica que contribuiu para o desenvolvimento desta dissertação.

À Lisandra, Luís, Teresa e Juliana, do grupo CENSE, com quem partilhei inúmeras tardes no gabinete, o meu obrigado.

E por último, um especial agradecimento à minha família e amigos, pelo interesse, apoio e incentivo constantes, que se relevaram igualmente fundamentais para a concretização desta dissertação.

Resumo

As atuais políticas da União Europeia apontam para a redução do consumo de energia final e aumento da eficiência energética. Neste contexto, os edifícios afiguram-se como um dos responsáveis por uma quota significativa do consumo de energia nos Estados-membros, tendo constituído um dos alvos primordiais destas políticas. Destaca-se a sua climatização, relevante quer pela importância para a saúde e bem-estar das pessoas, como pelo elevado consumo de energia associado. No entanto, o cumprimento dos objetivos de redução do consumo de energia final não deverá colocar em causa o acesso e garantia de condições de conforto térmico nos edifícios residenciais. Em Portugal, um edificado antigo com baixo desempenho energético, sistemas de climatização inexistentes e/ou pouco eficientes e um nível de pobreza energética considerável constituem fatores que colocam em risco a manutenção das condições adequadas de conforto térmico nas habitações.

O presente estudo tem como objetivo a avaliação do estado de conforto térmico nos alojamentos residenciais de todas as freguesias de Portugal continental e regiões autónomas, de acordo com a mais recente organização administrativa do território e o regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação (REH). Foi desenvolvida uma metodologia *bottom-up* para o cálculo das necessidades de climatização para o conforto térmico, com recurso à criação de tipologias de edifícios específicas para as regiões do país, e uma metodologia *top-down* para a estimativa dos consumos efetivos, a partir dos consumos municipais de energia final para o setor residencial. A diferença ou *gap* entre estes dois indicadores permitiu avaliar o nível de satisfação das necessidades de energia para as condições de referência de conforto térmico. Foi efetuada uma análise de sensibilidade, através de dois cenários, a parâmetros determinantes das necessidades energéticas, nomeadamente a área climatizada e duração de climatização. Os resultados foram mapeados utilizando o software QGIS.

No cenário de referência, em que se considera que 100% da área dos alojamentos é climatizada, durante 24 horas por dia, todas as freguesias apresentaram um *gap* superior a 60%, para aquecimento e arrefecimento, sendo que o *gap* global do país corresponde, respetivamente, a 92 e 96%. Relativamente aos cenários, nos quais se reduziu a área e duração de climatização de acordo com a zona climática, verificou-se a anulação do *gap* de uma parte significativa das freguesias. Identificaram-se as freguesias das regiões Beiras e Serra da Estrela e Terras de Trás-os-Montes como as mais vulneráveis no Inverno e as freguesias da região da Beira Baixa como as mais vulneráveis no Verão, devido aos elevados *gaps* que apresentam.

Esta dissertação permitiu analisar com elevado detalhe espacial, o nível de conforto térmico associado às temperaturas de referência durante as estações de aquecimento e arrefecimento em Portugal. Considerando condições menos exigentes que as previstas no REH, podem ser verificadas as seguintes situações: a) anulação do *gap* das freguesias, resultado de um padrão temporal e espacial específico de climatização, sem prejuízo do conforto térmico; b) manutenção de *gap* elevado, que resulta do elevado nível de pobreza energética da população.

Palavras-chave: conforto térmico; consumo de energia; necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento; *gap*; alojamentos; Portugal

Abstract

European Union has steered its policy towards the reduction of final energy consumption and the increase of energy efficiency. Accounting for a significant part of this consumption, the building sector has been a primordial target of this policies, particularly space heating and cooling. These two end uses are of utmost importance for health and well-being of people, therefore the goal of decreasing the energy consumption should not put at risk the access to thermal comfort in residential buildings. In Portugal, an old building stock with low energy performance, inexistent or low-efficiency climatization systems, and a considerable level of energy poverty are factors that may be preventing the achievement of adequate thermal comfort conditions in dwellings.

This study aims to assess the state of thermal comfort in residential dwellings, of all Portuguese civil parishes, according to the most recent administrative organization of the territory and the Residential Buildings Energy Performance Regulation (REH). A bottom-up buildings' typology approach, supported on a set of key building's characteristics (e.g. area, type of walls, bearing structure), was used to estimate the heating and cooling energy needs for thermal comfort. The distinct building characteristics of each region were taken into account in the typologies. A top-down energy use statistics-based approach was also used to estimate the heating and cooling final energy consumption for each of the civil parishes. The gap between these two indicators was used to assess the level of energy needs satisfaction, for standard thermal comfort conditions. Two sensitivity analysis scenarios based on adjustments concerning the typologies' average conditioned areas and the climatization hours related to different occupancy schedules were tested. Results were mapped using the QGIS software for visualization and spatial analysis.

In the reference scenario, in which 100% of the households' area and 24-hour climatization is considered, every civil parish had an energy gap higher than 60%, for both heating and cooling. The country's global gap corresponded to respectively 92% and 96%. In the alternative scenarios, where a reduction of the heated/cooled area and the climatization period were evaluated, the gap of a considerable number of civil parishes was bridged. Because of its higher gaps, the civil parishes located in the *Beiras e Serra da Estrela* and *Terras de Trás-os-Montes* regions were identified as the most vulnerable in the winter, whilst the civil parishes in *Beira Baixa* are the most vulnerable in the summer season.

In this study, a high-resolution spatial scale assessment of thermal comfort levels during the heating and cooling seasons in Portugal was performed. For lower requirements than those of the REH, the following situations occurred: a) civil parishes' energy performance gap eliminated, deriving from specific temporal-space climatization patterns, without compromising thermal comfort conditions; b) High gap uphold, stemming from significant energy poverty levels.

Keywords: thermal comfort; energy consumption; heating and cooling energy needs; gap; dwellings; Portugal

Índice

Resumo	VII
Abstract	IX
Índice de Figuras	XV
Índice de Tabelas	XIX
Abreviaturas e Unidades	XXI
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Âmbito e Objetivos.....	4
1.3 Organização da dissertação	6
2. Energia para conforto térmico nos edifícios residenciais.....	7
2.1 Consumo na União Europeia.....	7
2.2 Consumo em Portugal	10
2.3 Tendências futuras de consumo	14
2.4 Conforto Térmico	19
2.5 Pobreza energética.....	23
2.6 Legislação no âmbito do aquecimento, arrefecimento e conforto térmico em edifícios residenciais	29
2.6.1 Estratégia da União Europeia para o Aquecimento e Arrefecimento	31
2.6.2. Roteiro para a energia 2050	33
2.6.3 Legislação relativa ao Conforto térmico.....	34
2.7 Metodologias de estimativa de necessidades de Aquecimento e Arrefecimento nos edifícios	35
2.7.1 Métodos de determinação das necessidades energéticas.....	36
2.7.1.1 Métodos de Modelação	37
2.7.1.2. Casos de aplicação	39
2.7.2 Gap de desempenho energético.....	45
2.7.2.1. Causas do gap de desempenho energético	46
2.7.2.2. Casos de aplicação	48
2. Metodologia	51
3.1. Caso de estudo.....	53

3.2. Divisão Territorial	55
3.3. Comparação entre o RCCTE e REH	57
3.3.1 Comparação das metodologias de determinação das necessidades de climatização	60
3.3.1.1 Alterações na metodologia da estimativa das necessidades de energia útil para aquecimento de espaço	60
3.3.1.2 Alterações na metodologia da estimativa das necessidades de energia útil para arrefecimento de espaço	63
3.4. Estimativa dos alojamentos de acordo com a reorganização administrativa do território (Fase 1)	64
3.4.1 Atualização dos dados dos edifícios para a nova divisão administrativa	64
3.4.2 Estimativa do Número de Alojamentos	67
3.5. Determinação das necessidades e consumo de energia final para aquecimento e arrefecimento e gap de desempenho energético para o conforto térmico (Fase 2)	72
3.5.1 Metodologia de cálculo das necessidades de energia útil de aquecimento e arrefecimento	76
3.5.1.1. Necessidades úteis de aquecimento	77
3.5.1.2. Necessidades úteis de arrefecimento	78
3.5.2. Cálculo das necessidades de energia final para aquecimento e arrefecimento	79
3.5.3. Estimativa do consumo efetivo para aquecimento e arrefecimento	81
3.5.4 Determinação do gap de desempenho energético	84
3.5.5 Cenarização das necessidades de aquecimento e arrefecimento	84
3.5.5.1 Cenário “Conservador”	85
3.5.5.2 Cenário “Atual”	85
3.6. Mapeamento dos resultados (Fase 3)	85
4. Resultados e Discussão	87
4.1. Necessidades de aquecimento e arrefecimento	87
4.1.1. Necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento	87
4.1.2. Necessidades de energia final para aquecimento e arrefecimento	95
4.2. Consumo efetivo para aquecimento e arrefecimento	101
4.3. Gap de desempenho energético	105
4.3.1. Cenário de Referência	105
4.3.2. Cenário “Conservador”	112

4.3.3. Cenário “Atual”	117
5. Conclusões	125
6. Referências Bibliográficas.....	129
Anexo A – Metodologia de determinação das necessidades de aquecimento e arrefecido, estabelecidas no REH.	139
Anexo B – Mapa da área média de um alojamento das várias tipologias consideradas e da área total dos alojamentos	144
Anexo C – Mapas da distribuição do número de alojamentos.....	145
Anexo D – Mapas das taxas de posse de equipamentos de aquecimento	145

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Consumo de energia final por setor, UE-28, 2015 (% do total) (Eurostat, 2017).....	7
Figura 2.2 - Consumo anual de energia final do setor residencial, EU-28,1990-2014 (Eurostat 2017)	8
Figura 2.3 - Evolução do consumo de energia final por combustível no setor residencial, EU-28, 1990-2015 (Eurostat 2017)	8
Figura 2.4 - Evolução do consumo de energia final para aquecimento e arrefecimento de espaço no setor residencial, por alojamento, EU-28,1990-2014 (Odyssee-Mure, 2016).....	9
Figura 2.5 - Evolução do consumo de combustíveis para aquecimento no setor residencial, EU-28, 1990-2014 (Odyssee-Mure, 2016)	10
Figura 2.6 - Consumo de energia final por setor, Portugal, 2015 (% do total) (Eurostat, 2017)	10
Figura 2.7 - Consumo anual de energia final do setor residencial, Portugal, 1990-2014 (Eurostat 2017)	11
Figura 2.8 - Evolução do consumo de energia final por combustível no setor residencial, Portugal, 1990-2015 (Eurostat, 2017)	11
Figura 2.9 - Consumo de energia final para aquecimento por alojamento no setor residencial, 2000-2014 (Odyssee-Mure, 2016)	12
Figura 2.10 - Consumo de energia final para arrefecimento por alojamento no setor residencial, 2000-2014 (Odyssee-Mure, 2016)	13
Figura 2.11 - Evolução do consumo de combustível para aquecimento no setor residencial, Portugal, 2000-2013 (Odyssee-Mure, 2016).....	14
Figura 2.12 - Taxa de posse de equipamentos de aquecimento por tipo de edifício, Portugal, 2011 (adaptado de ClimaAdapt.local, 2015)	14
Figura 2.13 - Projeções de evolução do consumo de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) no setor residencial, UE, 2000-2050 (ktep) (Comissão Europeia, 2016b)	16
Figura 2.14 - Evolução do consumo de energia final, por combustível, no cenário “GHG40RES30EE30”, EU, 2000-2050 (ktep) (Comissão Europeia, 2016b)	17
Figura 2.15 - Evolução do consumo de energia final, por combustível, no cenário de referência (esquerda) e cenário “EE27”(direita), EU, 2000-2050 (ktep) (Comissão Europeia, 2016b)	17
Figura 2.16 - Comparação da procura energética e consumo de energia final dos usos domésticos de energia entre 2005 e 2050 (Gouveia <i>et al.</i> , 2012)	19
Figura 2.17 - Escalas de Bedford e ASHRAE (Adaptado de Parsons (2010))	21
Figura 2.18 - Indicadores EU-SILC para avaliação da pobreza energética, UE-28, 2015 (Eurostat, 2015).....	27
Figura 2.19 - Evolução dos resultados dos indicadores EU - SILC, Portugal, 2007-2015 (Eurostat, 2015).....	28
Figura 2.20 - Resultado do indicador "População a viver num alojamento não confortavelmente arrefecido durante o verão", EU-28, 2012 (Eurostat, 2015).....	29

Figura 2.21 - Relação entre o consumo e uso de energia num edifício e a temperatura exterior (Guan, 2009)	38
Figura 3.1 - Esquema metodológico	52
Figura 3.2 - Precipitação acumulada anual (esquerda) e Temperatura média anual (direita) em Portugal continental (IPMA, 2017a)	53
Figura 3.3 - Tipos de clima em Portugal continental (IPMA, 2017b)	55
Figura 3.4 - Regiões NUTS (PORDATA, 2013)	57
Figura 3.5 - Alteração das zonas climáticas de inverno (IteCons, 2013 e Camelo et al., 2006) ..	59
Figura 3.6 - Alteração das zonas climáticas de verão (IteCons, 2013 e Camelo et al., 2006) ...	60
Figura 3.7 - Processo de agregação de duas freguesias	65
Figura 3.8 - Ajuste do número de edifícios de uma freguesia	66
Figura 3.9 - Matriz genérica dos edifícios por número de pisos e alojamentos, para determinada unidade territorial.....	68
Figura 3.10 - Processo efetuado para obtenção dos edifícios residenciais (%).....	69
Figura 3.11 - Dados relativos aos edifícios por número de pisos e data de construção	69
Figura 3.12 - Dados relativos aos edifícios residenciais por piso e número de alojamentos (%)	69
Figura 3.13 - Dados relativos aos edifícios ocupados de residência habitual (%)	70
Figura 3.14 - Processo genérico de cálculo do número de alojamentos por número de pisos e data de construção do edifício	71
Figura 3.15 - Processo efetuado para a obtenção dos dados relativos aos alojamentos ocupados de residência habitual.....	72
Figura 3.16 - Regiões utilizadas para a definição de tipologias (Adaptado de Lopes, 2010)	74
Figura 3.17 - Mapas das zonas climáticas definidas pela agregação das zonas climáticas de inverno e verão (adaptado de IteCons, 2015).....	76
Figura 4.1 - Graus-dia anuais (esquerda) e duração da estação de aquecimento (direita) ao nível do município	87
Figura 4.2 - Temperatura exterior média diária na estação de arrefecimento (°C)	89
Figura 4.3 - Necessidades anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento por alojamento e unidade de área, por freguesia (MJ/(m ² .ano)).....	90
Figura 4.4 - Necessidades de energia útil para aquecimento por alojamento, para as tipologia em cada zona climática (MJ/(m ² .ano)).....	91
Figura 4.5 - Necessidades de energia útil para arrefecimento, por alojamento, das tipologias em cada zona climática (MJ/(m ² .ano)).....	91
Figura 4.6 - Média nacional das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento, por alojamento, das tipologias consideradas (MJ/(m ² .ano)).....	92
Figura 4.7 - Necessidades anuais de energia útil para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) por alojamento e por freguesia (GJ/ano)	93
Figura 4.8 - Necessidades anuais de energia útil para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) por ano e por freguesia (direita) (TJ/ano)	95

Figura 4.9 - Necessidades anuais de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por unidade de área e alojamento, por freguesia (MJ/(m ² . ano))	98
Figura 4.10 - Necessidades anuais de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) por alojamento, por freguesia (GJ/ano)	98
Figura 4.11 - Necessidades anuais de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por freguesia (TJ/ano).....	99
Figura 4.12 - Consumo anual efetivo de energia final no setor residencial (TJ/ano) por município	101
Figura 4.13 - Consumo anual efetivo de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) no setor residencial (TJ/ano), por município.....	102
Figura 4.14 - Consumo anual efetivo de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) por freguesia (GJ/ano)	103
Figura 4.15 - <i>Gaps</i> de energia (%) de aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por freguesia	106
Figura 4.16 - Distribuição de freguesias por classe de <i>gap</i> de aquecimento	106
Figura 4.17 - Distribuição de freguesias por classe de <i>gap</i> de arrefecimento.....	107
Figura 4.18 - <i>Gap</i> em valor absoluto entre necessidades e consumo efetivo de energia final, para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por freguesia (TJ/ano)	108
Figura 4.19 - Efeito da redução da área climatizada no <i>gap</i> percentual do país	109
Figura 4.20 - Efeito da redução da duração do período de climatização no <i>gap</i> percentual do país	109
Figura 4.21 – <i>Gap</i> em valor absoluto entre as necessidades e consumo de energia final, para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por freguesia, no cenário "Conservador" (TJ/ano)	114
Figura 4.22 - Necessidades de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por freguesia, no cenário "Conservador" (TJ/ano).....	114
Figura 4.23 - <i>Gap</i> (%) relativo ao aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), no cenário "Conservador", por freguesia	116
Figura 4.24 - Número de freguesias por intervalo de <i>gap</i> de aquecimento.....	117
Figura 4.25 - Número de freguesias por intervalo de <i>gap</i> de arrefecimento	117
Figura 4.26 - Necessidades anuais de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) por freguesia no cenário "Atual" (TJ/ano).....	118
Figura 4.27 - <i>Gap</i> de valor absoluto entre as necessidades e consumo de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por freguesia, no cenário "Atual" (TJ/ano)	119
Figura 4.28 - <i>Gap</i> de aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) (%), por freguesia, no cenário "Atual"	120
Figura 4.29 - Número de freguesias por intervalo de <i>gap</i> de aquecimento no cenário "Atual"	120
Figura 4.30 - Número de freguesias por intervalo de <i>gap</i> de arrefecimento no cenário "Atual"	121
Figura 4.31 - Relação do <i>gaps</i> de aquecimento e arrefecimento do total das freguesias no cenário de referência, por zona climática agregada	122

Figura 4.32 - Relação dos <i>gaps</i> de aquecimento e arrefecimento do total das freguesias no cenário "Conservador", por zona climática agregada	122
Figura 4.33 - Relação dos <i>gaps</i> de aquecimento e arrefecimento das freguesias no cenário "Atual", por zona climática agregada	122

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 – Diferença na expressão de cálculo da transferência de calor através de elementos em contacto com o solo (adaptado de Coutinho, 2014)	61
Tabela 3.2 - Forma de cálculo da transferência de calor por ventilação (adaptado de Coutinho, 2014)	61
Tabela 3.3 - Diferença no cálculo dos ganhos térmicos solares (adaptado de Coutinho, 2014)	62
Tabela 3.4 - Cálculo do fator solar no RCCTE (adaptado de Coutinho, 2014)	62
Tabela 3.5 - Forma de cálculo do fator solar no REH (adaptado de Coutinho, 2014).....	63
Tabela 3.6 - Comparação das expressões de cálculo do fator solar no RCCTE e REH (adaptado de Coutinho, 2014).....	63
Tabela 3.7 - Taxas de consumo de energia final para aquecimento e arrefecimento.....	83
Tabela 4.1 - Top 20 das freguesias de acordo com as necessidades de energia final de aquecimento e arrefecimento	100
Tabela 4.2 - Necessidades energéticas para arrefecimento e respetivo <i>ranking</i> de municípios selecionados.....	104
Tabela 4.3 - Necessidades energéticas para aquecimento e respetivo <i>ranking</i> de municípios selecionados.....	104

Abreviaturas e Unidades

- **AQ** – Aquecimento
- **AR** - Arrefecimento
- **ASHRAE** - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- **CAOP** - Carta Administrativa Oficial de Portugal
- **CELE** – Comércio Europeu de Licenças de Emissão
- **DGEG** – Direção Geral de Energia e Geologia
- **ENRE** - Estratégia Nacional para a Renovação de Edifícios
- **EU – SILC** - European Union Statistics on Income and Living Conditions
- **EUA** - Estados Unidos da América
- **FEEI** - Fundos Europeus Estruturais e de Investimento
- **GEE** - Gases de efeito de estufa
- **GPL** - Gás de petróleo liquefeito
- **ICESD** - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico
- **INE** – Instituto Nacional de Estatística
- **IteCons** - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade
- **NUTS** - Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
- **OMM** - Organização Meteorológica Mundial
- **OMS** – Organização Mundial da Saúde
- **PMV** - Predicted Mean Vote
- **PNAEE** - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
- **PNAER** - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
- **PPV** - Predicted Percentage of Dissatisfied
- **RCCTE** - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
- **RECS** - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
- **REH** – Regulamento de Edifícios de Habitação
- **RSECE** - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
- **SCE** - Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
- **UE** – União Europeia
- **UE-28** – Alemanha, Hungria, Áustria, Irlanda, Bélgica, Itália, Bulgária, Letónia, Chipre, Lituânia, Croácia, Luxemburgo, Dinamarca, Malta, Eslováquia, Holanda, Eslovénia, Polónia, Espanha, Portugal, Estónia, Reino Unido, Finlândia, República Checa, França, Roménia, Grécia e Suécia
- **GD** – Graus-dia
- **GJ** – Gigajoule
- **K** – Graus Kelvin
- **kg** – Quilograma
- **kJ** – Quilojoule
- **Ktep** – Mil toneladas equivalente de petróleo
- **kWh** – Quilowatt-hora
- **MJ** – Megajoule
- **PJ** – Petajoule
- **TJ** – Terajoule

1. Introdução

1.1 Enquadramento do tema

A energia tem assumido, desde o início das civilizações, um papel fundamental na subsistência e desenvolvimento do ser humano e das sociedades, sendo utilizada em diferentes formas e para fins distintos. Com o crescimento da população, a sua procura tem naturalmente aumentado, de forma exponencial, sendo que o seu consumo é atualmente uma das principais forças motrizes da economia mundial, em todos os seus sectores (e.g. indústria, comércio, transportes e doméstico) (Rosen, 2009).

Uma das utilizações mais ancestrais de energia é o aquecimento, que constitui uma das necessidades básicas essenciais para a sobrevivência da espécie humana. O arrefecimento assume igualmente considerável relevância para o bem-estar e qualidade de vida.

Como descrito por Parsons (2014), a procura do conforto térmico tem constituído uma prioridade para o Homem, desde os primórdios da sua existência, através do ajuste da sua posição em relação a fontes de calor, do uso de vestuário e construção de abrigos para proteção contra o frio e do calor. Pese embora a sua capacidade de termorregulação, o corpo humano necessita de conforto térmico para se encontrar na plenitude das suas funções e da sua condição fisiológica. De facto, segundo Parsons (2014), a presença em ambientes que não proporcionem conforto térmico pode afetar de forma adversa a saúde, o moral e a produtividade.

Apesar de poder ser parcialmente influenciada por fatores culturais e circunstanciais, e de depender de diversos fatores, a sensação de estado de conforto térmico está fundamentalmente relacionada com o ambiente térmico em que uma pessoa se encontra, sendo resultado das trocas de calor que ocorrem (Tiwari *et al.*, 2010). É então possível afirmar que, para se procurar aferir se as populações estão sujeitas a ambientes termicamente desadequados, ou seja, de desconforto térmico, é imperativo analisar o ambiente dos locais em que as pessoas passam a maior quantidade do tempo, no seu quotidiano. De acordo com Sookchaiya *et al.* (2010), a maioria da população passa 90% do seu tempo em ambientes artificiais, isto é, no interior de edifícios. Do tempo despendido nesses ambientes artificiais, parte significativa diz respeito ao tempo passado nas suas próprias habitações.

O conforto térmico nos edifícios está intimamente relacionado com o seu desempenho energético. Por sua vez, este desempenho depende profundamente do design dos elementos construtivos dos edifícios, como a morfologia urbana e o contexto das imediações (Braulio-Gonzalo *et al.*, 2016). Assim, os fatores que influenciam o conforto térmico devem então ser tidos em conta na fase do design dos edifícios (Steenackers *et al.*, 1992; Al Horr *et al.*, 2016). O conforto térmico deve ser um parâmetro e requisito imprescindível na fase de design e construção (Haghighat, 2009), para que seja possível ter edifícios de elevada qualidade que criem um ambiente térmico propício à qualidade de vida dos seus habitantes. No século XX, verificaram-se consideráveis progressos na conceção de edifícios, quer a nível arquitetónico, onde o Homem

passou a figurar como elemento central, quer a nível tecnológico, em particular com o desenvolvimento dos sistemas de aquecimento e arrefecimento (Fabbri, 2015). Estes desenvolvimentos resultaram numa melhoria do seu ambiente térmico e consequentemente no aumento da qualidade de vida das pessoas.

No entanto, nos dias de hoje, o conforto térmico das populações continua a ser um tema tão atual como relevante, na medida em que parte significativa da população mundial se encontra ainda numa situação de risco ou mesmo na impossibilidade de assegurar as condições necessárias de conforto térmico nas suas habitações (WHO, 2012). Este problema resulta de uma conjugação de fatores de diferente natureza. Os edifícios têm como uma das suas principais funções a adaptação ao clima, de forma a providenciar um ambiente confortável para os seus habitantes (Akanke e Adedamowo, 2010). Se esta adaptação não se traduz num ambiente térmico favorável, isto poderá significar que, na construção e design do edifício, não foram tidos em conta os parâmetros necessários para se atingir o conforto térmico. Poderá não existir o equilíbrio correto entre os sistemas passivo (envolvente) e ativo do edifício (sistemas de climatização), condição essencial para um ambiente térmico apropriado. Nestes casos, maior quantidade de energia será necessária para manter a temperatura do edifício a um nível adequado. Edifícios mais antigos são frequente exemplo desta situação, pois grande parte foi construída num período em que nenhuma norma de eficiência energética se encontrava em vigor e o conhecimento sobre a eficiência energética dos materiais, características construtivas e tecnologia era reduzido (Singh *et al.*, 2016). Maior atenção tem sido prestada ao ambiente interior dos edifícios, em especial das habitações, devido à sua influência, comprovada cientificamente, na saúde humana (Hood, 2005; Liddell e Morris, 2010).

A reduzida eficiência energética tem um efeito amplificador relativamente à principal causa de desconforto térmico nas habitações – a pobreza energética, isto é, a impossibilidade financeira de manter a habitação a uma temperatura adequada (WHO, 2012). É um problema que afeta atualmente milhões de pessoas na Europa e está relacionado com os elevados preços dos combustíveis e baixos rendimentos das populações (WHO, 2012). A causa deste problema assume assim igualmente uma forte componente social.

O sul da Europa é uma região particularmente vulnerável a impactes adversos no conforto térmico, que se repercutem na saúde das populações e no consumo energético (Barbosa *et al.*, 2015). Em Portugal, um edificado envelhecido, sistemas de climatização deficitários e descentralizados, taxas de posse destes equipamentos reduzidas, particularmente no que respeita aos equipamentos de arrefecimento (grande parte dos edifícios são ainda naturalmente ventilados), e o comportamento dos utilizadores (Bernardo, 2015) são fatores que acrescem à pobreza energética que aflige parte substancial da população (Simões *et al.*, 2016). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), Portugal é o país da União Europeia com o maior índice de prevalência de inabilidade de manter a habitação adequadamente arrefecida no Verão e com o segundo maior índice relativo à inabilidade de manter a habitação adequadamente aquecida no Inverno, a seguir à Bulgária (WHO, 2012). Esta estatística é demonstrativa da vulnerabilidade de Portugal ao estado de desconforto térmico nos seus edifícios e dos habitantes. Este risco

aumenta de forma acentuada, perante a perspectiva de alterações imprevisíveis no clima, visto que os edifícios não foram preparados tendo em consideração as projeções climáticas futuras (Barbosa *et al.*, 2015).

Por outro lado, a União Europeia tem direcionado as suas políticas energéticas no sentido de garantir a segurança de abastecimento de energia; de assegurar a competitividade do mercado de energia, de forma a garantir preços acessíveis para os diferentes consumidores; e ainda de tornar o consumo de energia sustentável, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, a poluição e a dependência de combustíveis fósseis. Através de medidas que cumpram estes objetivos, pretende-se reduzir a dependência das importações energéticas, que assumem elevado custo financeiro, dos combustíveis cuja escassez contribui para o aumento dos preços e consequentemente da despesa europeia, conseguindo simultaneamente responder ao aumento da procura (Comissão Europeia, 2017a).

Assim, a União Europeia tem lançado estratégias energéticas que definem prioridades e objetivos para os anos 2020, 2030 e 2050, envolvendo todos os Estados-membros. Estas estratégias baseiam-se, na sua generalidade, na redução do consumo de energia, aumento da eficiência energética e redução das emissões de gases de efeito estufa (Comissão Europeia, 2017a). Para 2020, estão definidos três objetivos vinculativos: redução de 20% das emissões de gases de efeito estufa, 20% da energia obtida através de fontes de energia renovável e aumento de 20% de eficiência energética (Comissão Europeia, 2017a). Para 2030, encontram-se definidos dois objetivos vinculativos, a redução de 40% das emissões de GEE em relação ao ano 1990 e 27% da energia ser obtida através de fontes renováveis e ainda um objetivo indicativo de aumento de 27% da eficiência energética (Comissão Europeia, 2017a). Relativamente a 2050, foi definido apenas um objetivo indicativo de redução de 80 a 95% das emissões de GEE, comparativamente ao ano de 1990 (Comissão Europeia, 2017d). Os edifícios são responsáveis por aproximadamente 40% do consumo de energia na Europa e 36% das emissões de gases de efeito estufa (Comissão Europeia, 2017b). A sua contribuição encontra-se em expansão, representando por isso um setor com elevado potencial de intervenção (Ürge-Vorsatz *et al.*, 2015).

Os edifícios têm sido um dos alvos das políticas energéticas da União Europeia, em particular da Diretiva 2002/91/EC relativa ao desempenho energético de edifícios, mais tarde substituída pela Diretiva 2010/31/EU. Esta diretiva veio definir as diretrizes e regulamentos a ser adotados pelos Estados-membros, de forma a melhorar o desempenho energético dos edifícios novos e também dos já existentes (Burman *et al.*, 2014). Definiu igualmente a meta de que todos os edifícios novos devem ter necessidades energéticas quase nulas em 2020. O 3º artigo da diretiva estabelece uma metodologia para calcular as necessidades energéticas dos edifícios, em particular as necessidades de aquecimento e arrefecimento (Burman *et al.*, 2014), que constituem dois dos principais usos de energia nos edifícios. Através desta metodologia de estimativa, é possível verificar se os requisitos de desempenho energético dos edifícios são de facto cumpridos (Burman *et al.*, 2014). Estas metodologias são também utilizadas para definir os

certificados energéticos a atribuir aos edifícios, com a indicação da eficiência energética (Burman *et al.*, 2014).

Em Portugal, esta diretiva deu origem a um novo regulamento do desempenho energético dos edifícios de habitação (REH) que, por sua vez, veio estabelecer diferentes requisitos energéticos e parâmetros climáticos relativamente ao anterior regulamento. Estas modificações resultaram numa alteração dos cálculos das necessidades energéticas dos edifícios.

As referências ao conforto térmico na letra destes instrumentos são algo vagas e de reduzida objetividade. Na diretiva é referido que as medidas para melhoria do desempenho energético dos edifícios, assim como os requisitos mínimos definidos para o cálculo do desempenho energético, devem ter em conta o ambiente interior. No entanto, na legislação europeia não estão definidos procedimentos sobre como o efetuar (Kunkel e Kontonasiou, 2015). No REH é referido que “se procurou introduzir as orientações e a prática internacional com base nos conhecimentos mais avançados sobre a eficiência energética e o conforto térmico”. É igualmente referido que se assume que os espaços interiores úteis, para efeito de cálculo das necessidades energéticas, se pressupõem aquecidos ou arrefecidos de forma a manter uma temperatura interior de referência de conforto térmico. Por outras palavras, considera-se que através da metodologia estabelecida, se os valores dos parâmetros utilizados para o cálculo forem iguais aos requisitos mínimos definidos, as necessidades de aquecimento e arrefecimento são estimadas para assegurar condições de conforto térmico.

Não obstante a inegável importância da redução do consumo energético e das emissões de dióxido de carbono associadas aos edifícios, para a segurança energética e mitigação das alterações climáticas, o conforto térmico nas habitações deve igualmente constituir uma prioridade (Kunkel e Kontonasiou, 2015). A procura da sustentabilidade energética e ambiental não deverá, em circunstância alguma, colocar em causa o conforto e saúde das pessoas. É essencial garantir que a eficiência energética e a qualidade do ar interior nos edifícios residenciais sejam consideradas como tendo o mesmo nível de importância (Kunkel e Kontonasiou, 2015). Em Portugal, a quantidade de dados e estudos sobre o estado do ambiente térmico interior nos edifícios residências é consideravelmente reduzida. No entanto, tal como demonstram Healy (2003), Bouzarovski (2014) e Simões *et al.* (2016) nos seus estudos em que abordam a pobreza energética em Portugal, e a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2012), no seu relatório sobre as desigualdades no domínio da saúde ambiental na Europa, existem razões suficientes para considerar que a falta de conforto térmico nas habitações é um problema real e sério.

1.2 Âmbito e Objetivos

Numa perspetiva global, a conciliação entre o conforto térmico nas habitações e as metas de eficiência energética pode ser interpretada, de certa forma, como um compromisso entre as necessidades atuais e objetivos futuros, ou seja, um compromisso entre o bem-estar das populações atuais e os objetivos futuros de política energética, que têm o intuito de garantir a

segurança, acessibilidade e sustentabilidade energética, bem como a estabilização do clima, para as gerações futuras. A própria consolidação e interiorização da importância destas metas na sociedade está dependente da provisão e garantia das condições básicas de subsistência e bem-estar das populações, onde se enquadra o conforto térmico.

Os estudos que abordam e analisam o ambiente térmico no contexto de redução de consumo e aumento da eficiência energética são de reduzido número, especialmente em Portugal. Assim, estudos sobre a situação atual fornecem informação relevante que poderá contribuir para uma melhor compreensão do problema e para o desenvolvimento de políticas ou instrumentos no sentido de o mitigar. Com este propósito, este trabalho tem por objetivo avaliar o estado atual do conforto térmico nos alojamentos residenciais ocupados de todas as 3092 freguesias de Portugal continental e ilhas, correspondentes à mais recente organização administrativa do território. Esta avaliação é efetuada através da comparação entre a energia final atualmente consumida para aquecimento e arrefecimento e as necessidades de energia final que permitem assegurar as condições de conforto térmico durante todo o ano, estimadas de acordo com as referências e metodologia do REH, para todas as freguesias do país. Esta comparação traduz o desajustamento entre o consumo e a necessidade de energia final para níveis aceitáveis de conforto térmico. Este desajustamento é designado por *gap* energético de conforto térmico.

De forma a consubstanciar a análise do objetivo geral, o estudo assenta nos seguintes objetivos específicos, realizados para as habitações de todas as freguesias do país:

- i. Estimativa das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento que assegurem condições de conforto térmico;
- ii. Estimativa dos consumos efetivos de energia final para aquecimento e arrefecimento;
- iii. Análise da distribuição do *gap* energético no país e identificação das suas causas;
- iv. Avaliação do efeito de diferentes cenários de necessidades no estado de conforto térmico das habitações;

Para suportar o estudo e contextualizar o problema, foi avaliada a situação atual e tendências de evolução do aquecimento e arrefecimento na Europa e em Portugal; foram analisados os fatores que influenciam o conforto térmico e procedeu-se à revisão da legislação e outros instrumentos estratégicos a nível nacional e europeu relativa a este âmbito. Este estudo é inovador no contexto nacional pois analisa, pela primeira vez e com elevado detalhe espacial, o desajustamento energético que condiciona situações permanentes, e por vezes graves, de desconforto térmico nas habitações.

1.3 Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em sete capítulos, que correspondem ao corpo principal do trabalho, e uma secção de anexos, que contém a informação complementar. A estrutura da dissertação é a seguinte:

- *Capítulo 1* – Neste capítulo é introduzido e contextualizado o tema, fazendo recurso a literatura existente de forma a destacar a relevância do âmbito em que se insere. São igualmente definidos os objetivos principais do trabalho e é descrita ainda a sua organização.

Capítulo 2 – É efetuada uma descrição e caracterização da evolução do consumo de energia para aquecimento e arrefecimento no setor residencial, ao longo das décadas, em Portugal e na União Europeia e também das tendências futuras. São identificados os instrumentos legislativos e regulatórios que abordam estes usos de energia, bem como as políticas e estratégias futuras. É abordado o conceito de conforto térmico com base na revisão de literatura e são identificados os instrumentos e normas que o regulam. É igualmente efetuada uma revisão do conceito de pobreza energética, sendo identificadas as causas e consequências deste problema e analisada a sua relevância para a população em Portugal. São revistos e analisados os diferentes métodos de determinação do desempenho energético de edifícios, particularmente no que respeita às necessidades de aquecimento e arrefecimento. São analisados os diferentes tipos de *gap* de desempenho energético.

- *Capítulo 3* – Neste capítulo foi efetuada uma caracterização do caso de estudo, no que diz respeito ao clima, divisões administrativas e regulamentos de desempenho energético. São descritos todos os procedimentos metodológicos realizados para a obtenção dos resultados pretendidos, nomeadamente no respeitante à recolha e tratamento de dados e ferramentas utilizadas.
- *Capítulo 4* – Apresentação dos resultados obtidos e respetiva discussão, com foco na avaliação integrada do estado do conforto térmico no país.
- *Capítulo 5* – Apresentação das principais conclusões retiradas da discussão dos dados obtidos. Foi efetuada a discussão das limitações e problemas encontrados na realização deste trabalho. Foi avaliado o contributo deste trabalho para a área de estudo e discussão da importância dos resultados obtidos. Foram ainda analisadas potenciais melhorias e desenvolvimentos a efetuar em estudos futuros.

2. Energia para conforto térmico nos edifícios residenciais

2.1 Consumo na União Europeia

Segundo a Comissão Europeia, os edifícios representam 40% do consumo total de energia final na União Europeia. No entanto, nesta percentagem estão englobados edifícios de diferentes sectores, como o comercial e serviços, residencial ou o industrial. Tendo em conta que este estudo se foca no desempenho térmico de edifícios e alojamentos de habitação, torna-se relevante analisar o consumo associado ao setor residencial. Na União Europeia, em 2015, o consumo deste setor correspondeu a uma percentagem de aproximadamente 25% do total de energia final consumida (Eurostat, 2017), como pode ser observado na Figura 2.1. Constitui o setor com o segundo maior consumo, apenas inferior ao setor dos transportes, o que é demonstrativo do seu significativo peso para o consumo final da União Europeia.

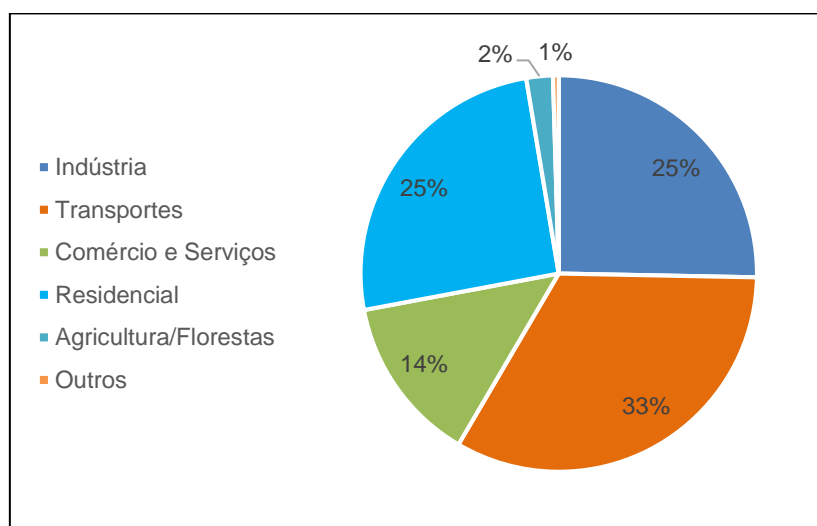


Figura 2.1 - Consumo de energia final por setor, UE-28, 2015 (% do total) (Eurostat, 2017)

Observando a evolução deste consumo desde o ano de 1990, ilustrada na Figura 2.2, verifica-se um aumento constante de 1990 a 2010. A partir desse ano, sucederam-se decréscimos e aumentos do consumo, ainda que em valores inferiores ao registado em 2010. Nos últimos dois anos analisados, o valor de consumo de energia final do setor registou valores semelhantes aos de 1990. Este decréscimo poderá estar relacionado com o efeito das medidas de eficiência energética e redução de energia e com a crise económica e financeira global que afetou a Europa.

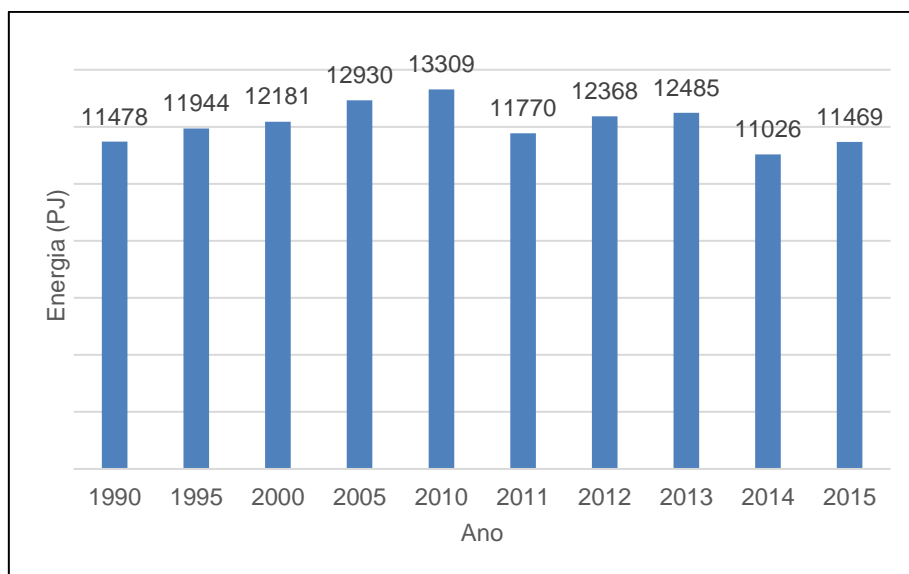


Figura 2.2 - Consumo anual de energia final do setor residencial, EU-28,1990-2014 (Eurostat 2017)

Relativamente à caracterização do consumo, verifica-se através da observação da Figura 2.3, que o gás natural constitui o principal combustível usado nos alojamentos. Segundo a Eurostat, esta forma de energia correspondeu a uma quota de cerca de 36% do consumo total de energia final do setor, em 2015. A eletricidade representa a segunda maior fonte de energia final, com 25%, em 2015, tendo registado uma tendência crescente até 2010 e estabilizado a partir desse ano. O uso de produtos petrolíferos tem diminuído ao longo dos anos, enquanto o uso de energia de fontes renováveis tem evoluído no sentido oposto, registando um aumento gradual neste setor e constituindo, em 2015, a terceira maior fonte de energia final.

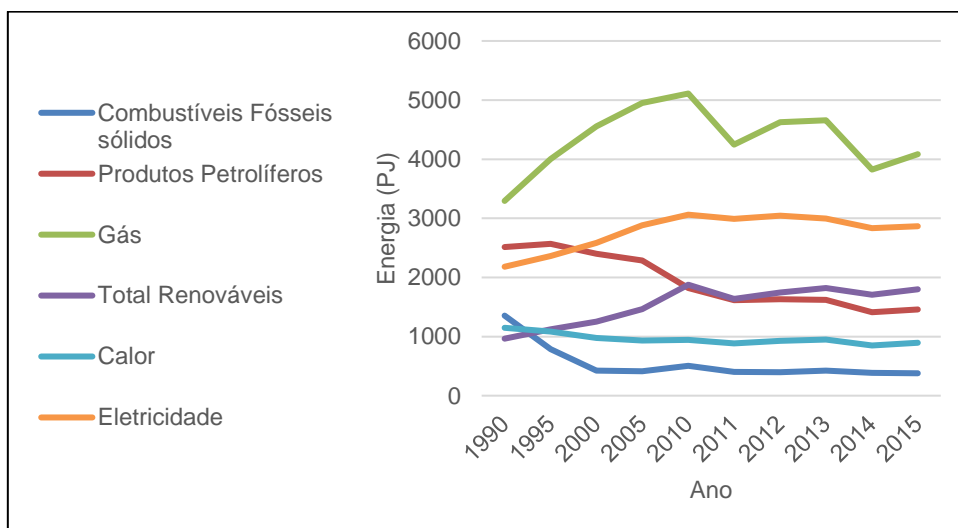


Figura 2.3 - Evolução do consumo de energia final por combustível no setor residencial, EU-28, 1990-2015 (Eurostat 2017)

Dos usos de energia final no setor residencial, destacam-se o aquecimento e arrefecimento, alvos deste estudo. A *Eurostat* não diferencia os usos de energia final nos edifícios residenciais, pelo que se torna difícil obter informação sobre os consumos de energia para aquecimento e arrefecimento. O projeto *Odyssee-Mure* (Odyssee-Mure, 2016) desenvolveu estimativas relativas aos usos de energia final, segundo as quais, na União Europeia, o aquecimento constitui o uso com maior peso no consumo de energia final, registando, em 2014, uma quota de 67% da energia final do setor. O consumo de energia destinado a este uso tem, no entanto, vindo a diminuir gradualmente desde 1990, progresso que vai no sentido dos instrumentos e metas estabelecidos, em particular pelas diretivas relativas ao desempenho energético dos edifícios, com o objetivo de reduzir o consumo deste uso. Por outro lado, o arrefecimento registou um aumento de 1990 a 2010, estabilizando a partir desse ano, com ligeiro decréscimo em 2014. No entanto, este uso representa ainda uma percentagem residual (0.4% em 2014), do total de energia consumido no setor. A evolução do consumo de aquecimento e arrefecimento no setor residencial pode ser observada na Figura 2.4.

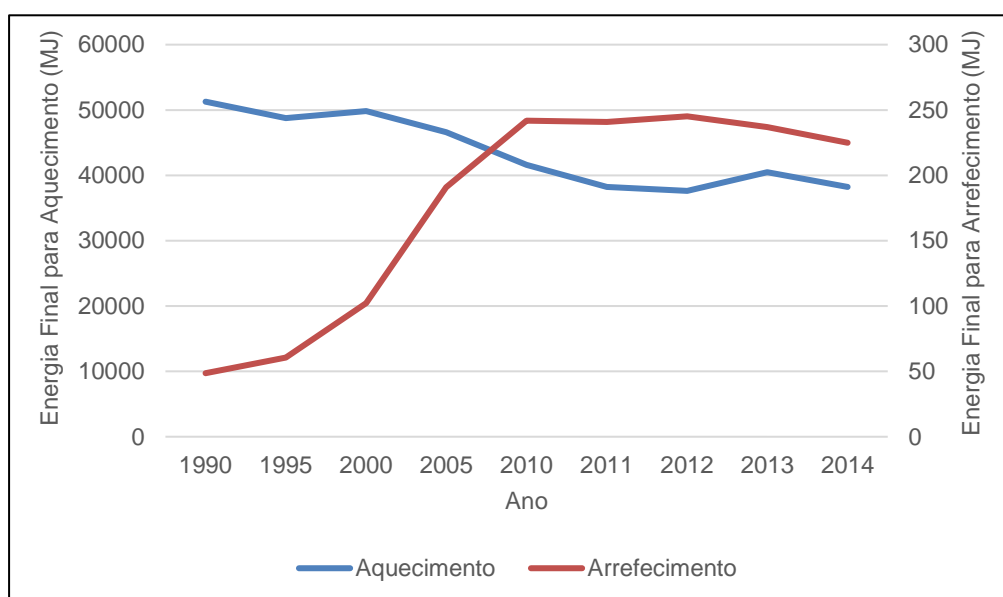


Figura 2.4 - Evolução do consumo de energia final para aquecimento e arrefecimento de espaço no setor residencial, por alojamento, EU-28, 1990-2014 (Odyssee-Mure, 2016)

O aquecimento neste setor é efectuado principalmente através da utilização de gás natural ou GPL. Este combustível representou aproximadamente 36% da energia final utilizada para este uso. Verifica-se uma diminuição do uso de produtos petrolíferos e dos combustíveis fósseis sólidos para o aprovisionamento de energia final para aquecimento, à semelhança do que sucede para a energia final total do setor. A biomassa corresponde à segunda fonte de energia final para aquecimento mais relevante, representando 20% da energia obtida (Figura 2.5). O arrefecimento é suportado através da utilização exclusiva de eletricidade (Odyssee-Mure, 2016).

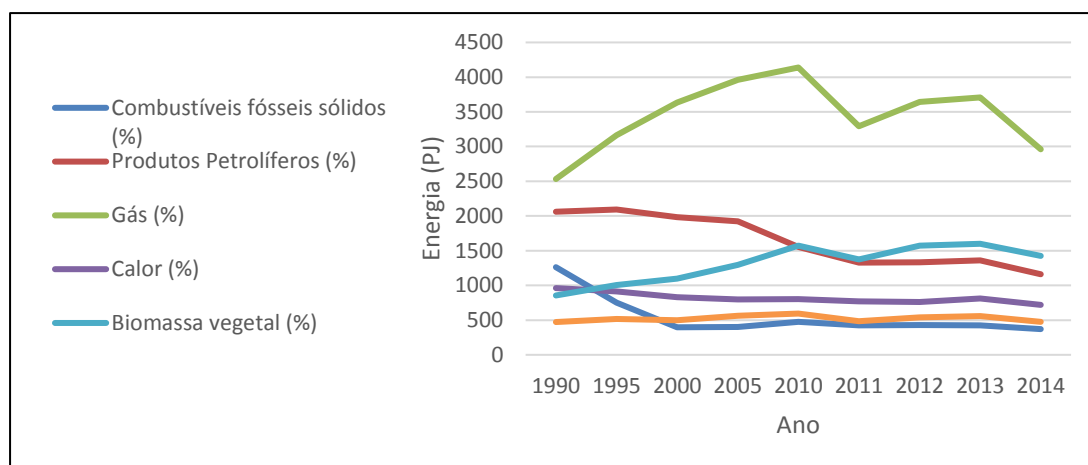


Figura 2.5 - Evolução do consumo de combustíveis para aquecimento no setor residencial, EU-28, 1990-2014 (Odyssee-Mure, 2016)

2.2. Consumo em Portugal

Em Portugal, o setor residencial tem um peso menos significativo no consumo total de energia final, registando uma percentagem de cerca de 16% em 2015 (Eurostat, 2017). Este constitui o terceiro setor com maior consumo do país, superado pelos setores dos transportes e indústria (Eurostat, 2017). O peso dos diferentes setores no consumo de energia final pode ser consultado na Figura 2.6.

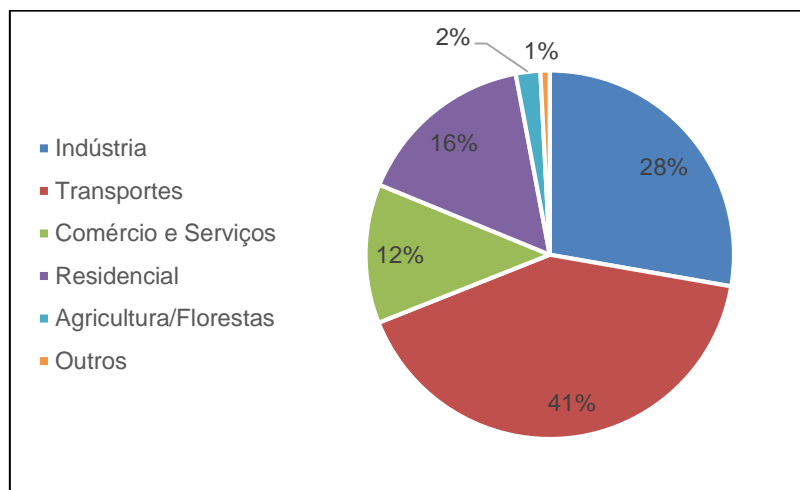


Figura 2.6 - Consumo de energia final por setor, Portugal, 2015 (% do total) (Eurostat, 2017)

O consumo anual de energia final registou um crescimento de 1990 a 2005, ano em que a tendência de evolução se reverteu e passou a ser de decréscimo, que se prolonga até 2015 (Figura 3.7). Os fatores motrizes que influenciam e determinam o consumo são variados e abundantes, assim com as suas interações, pelo que a sua análise constitui um exercício complexo. Ainda que não seja possível afirmar com certeza que esta evolução do consumo seja fruto das medidas e regulamentos para a melhoria desempenho energético e eficiência de

edifícios, estabelecida em Portugal, esta enquadra-se no sentido dos objetivos de redução do consumo energético do setor residencial, preconizado por estes instrumentos.

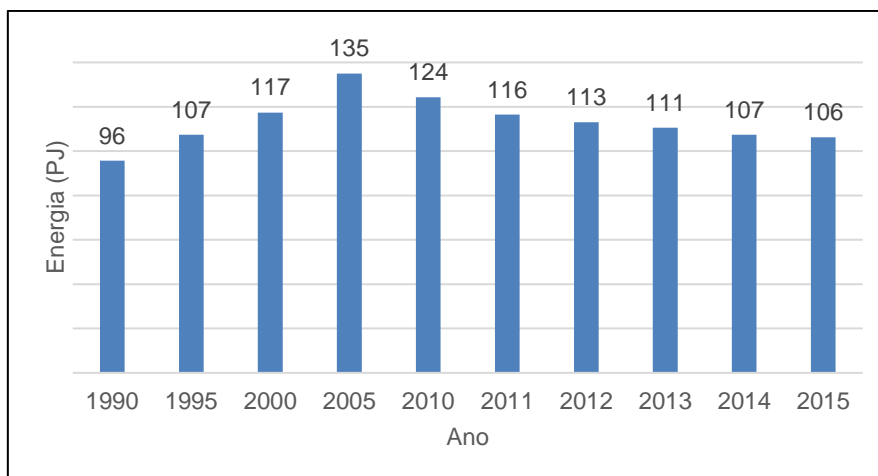


Figura 2.7 - Consumo anual de energia final do setor residencial, Portugal, 1990-2014 (Eurostat 2017)

De acordo com a Figura 2.8, nos edifícios de habitação portugueses, a eletricidade é atualmente a principal fonte de energia final, representando, em 2015, 40.6%. As energias renováveis (maioritariamente biomassa) constituíram a principal fonte de energia final do setor até meados da primeira década do novo milénio, tendo o seu uso sofrido uma diminuição considerável de 2005 a 2010. A partir deste último ano, a utilização desta fonte de energia registou um aumento gradual, representando, em 2015, uma quota de 32%. Desde 2000, os produtos petrolíferos têm vindo a perder importância como fonte de energia final do setor. Com a redução do uso de combustíveis fósseis e aumento da taxa de energias de fonte renovável, a evolução do uso dos combustíveis neste setor, parece estar a progredir na direção definida pela estratégia geral do aumento sustentável da exploração de energia renovável, do Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) e do Decreto-Lei n.º 39/2013. Verifica-se que alguns combustíveis têm pesos muito diferente no consumo de energia final em Portugal e na União Europeia. Isto deve-se à diferença de peso dos usos no consumo de energia final.

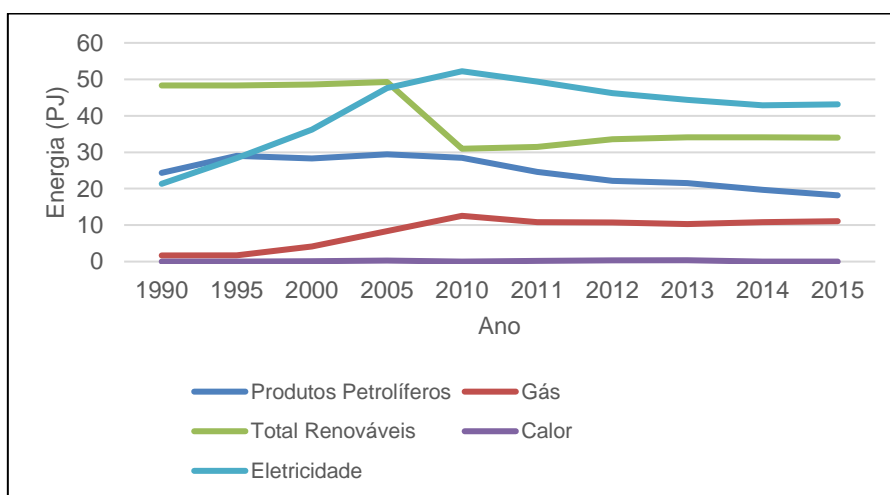


Figura 2.8 - Evolução do consumo de energia final por combustível no setor residencial, Portugal, 1990-2015 (Eurostat, 2017)

Segundo as estimativas do projeto *Odyssee-Mure* (Odyssee-Mure, 2016), em Portugal, o aquecimento representa uma quota do total da energia final consumida no setor residencial consideravelmente mais reduzida que a média da União Europeia, correspondendo aproximadamente a 22% em 2013. Segundo o Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (ICESD) (INE/DGEG, 2011), relativo ao ano de 2010, cerca de 21.5% do consumo de energia final no setor doméstico destina-se ao aquecimento de espaços, o que reforça a validade da estimativa da *Odyssee-Mure* (Odyssee-Mure, 2016).

O clima é uma das justificações para esta situação, visto que em Portugal, na estação de aquecimento, se verificam condições climáticas mais amenas que na grande maioria dos Estados-membros da União Europeia, havendo assim menor necessidade de aquecer as habitações. O consumo de energia para aquecimento tem registado uma diminuição ao longo dos anos, tal como na União Europeia, excetuando um ligeiro aumento de 2012 para 2013. Observando a Figura 2.9, comparativamente a outros países do sul da Europa, que partilham algumas semelhanças ao nível do clima, verifica-se que o consumo de energia final para aquecimento, por alojamento, em Portugal, é significativamente inferior. Isto poderá ser um sintoma da taxa elevada de pobreza energética, que assola a população portuguesa. Por outras palavras, poderá constituir um indício de que não se consome a energia necessária para fornecimento deste serviço de energia, de forma a garantir o ambiente térmico interior adequado. No que respeita ao arrefecimento (Figura 2.10), o consumo cresceu até 2010, decrescendo ligeiramente até 2013, ano no qual corresponde a 0.64% da energia final do setor residencial. De acordo com o ICESD (INE/DGEG, 2011), a quota de energia final utilizada para este uso foi de 0.50%. O consumo de energia destinado a este uso é residual e idêntico em Portugal e nos restantes países do sul da Europa, com exceção da Itália, onde assume maior magnitude.

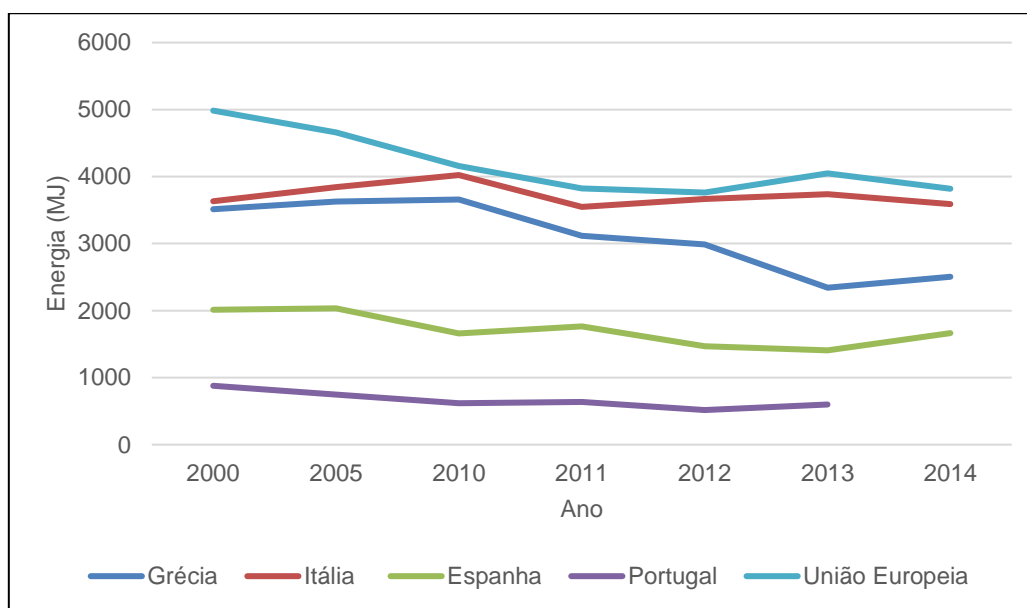


Figura 2.9 - Consumo de energia final para aquecimento por alojamento no setor residencial, 2000-2014 (Odyssee-Mure, 2016)

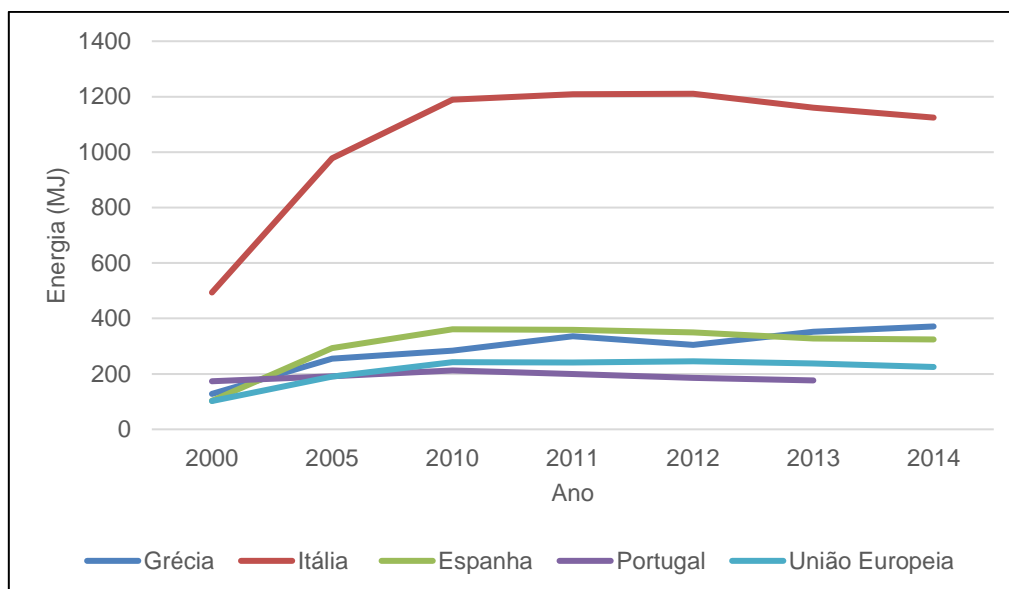


Figura 2.10 - Consumo de energia final para arrefecimento por alojamento no setor residencial, 2000-2014 (Odyssee-Mure, 2016)

O aquecimento em Portugal é efetuado principalmente com recurso à biomassa vegetal, isto é, a lenha, que representa 73% da energia final utilizada para esse fim, como é possível compreender através da Figura 2.11. O aquecimento com este combustível é característico das regiões interiores e mais rurais do país, apesar de ocorrer igualmente nas grandes cidades e subúrbios urbanos, principalmente em edifícios do tipo vivenda. Observando a Figura 2.12, que demonstra as taxas de posse de equipamentos de aquecimento estimadas no projeto ClimAdaPT.local (Simões *et al.*, 2015), com recurso aos dados do ICESD (INE/DGEG, 2011), verifica-se que nos alojamentos deste tipo de edifício existe uma taxa de posse elevada de equipamentos de aquecimento a biomassa, cerca de 54%. Nas grandes cidades e zonas urbanas, onde os prédios constituem o tipo de edifício predominante, o aquecimento é efetuado principalmente com recurso à energia elétrica, sendo que esta é a segunda maior fonte de energia para aquecimento. A elevada taxa de posse de equipamentos elétricos independentes nos alojamentos dos prédios portugueses (70%) reforça a ideia do uso maioritário da eletricidade para aquecimento neste tipo de edifício. A taxa de posse deste tipo de equipamentos nas vivendas é igualmente substancial, com um total de 33%. Estas taxas de posse dizem respeito aos edifícios que possuem algum tipo de equipamento de aquecimento, que correspondem a 86% do total dos edifícios em Portugal.

O arrefecimento é provisionado apenas com recurso à eletricidade, para todas as regiões do país. A percentagem de alojamentos em que é possível encontrar um equipamento de arrefecimento é de apenas 10.2%. Com recurso aos dados do ICESD (INE/DGEG, 2011), foi possível verificar que nos alojamentos em que existe algum equipamento de arrefecimento, o equipamento mais utilizado é o ventilador, com uma taxa de posse de 67.6%, seguido da bomba de calor, com taxa de posse igual a 25%, e, por fim, o ar condicionado, presente em 7% destes edifícios. A bomba de calor corresponde igualmente a um equipamento de ar condicionado,

tendo, no então, a dupla função de aquecimento e arrefecimento. Por sua vez, “ar condicionado” refere-se ao equipamento que funciona apenas para o arrefecimento (INE/DGEG, 2011).

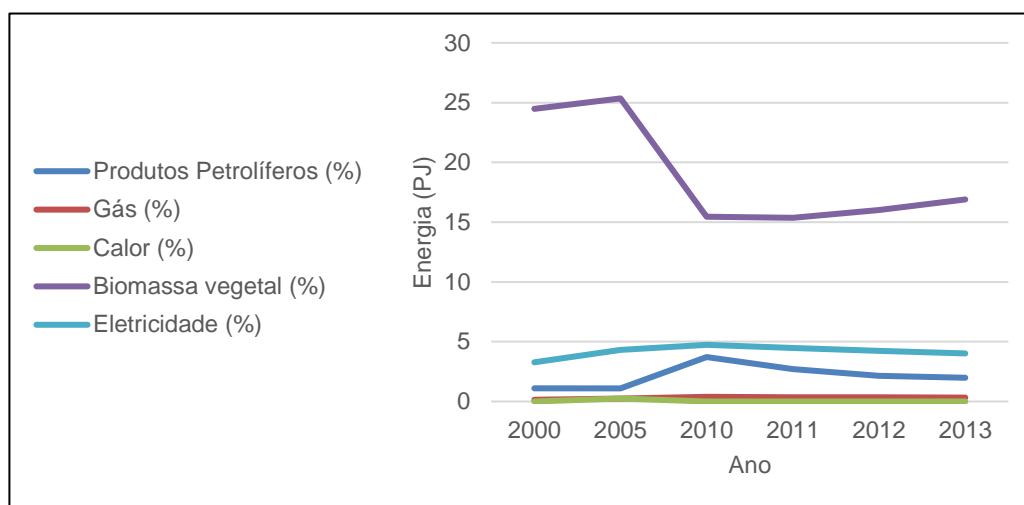


Figura 2.11 - Evolução do consumo de combustível para aquecimento no setor residencial, Portugal, 2000-2013 (Odyssee-Mure, 2016)

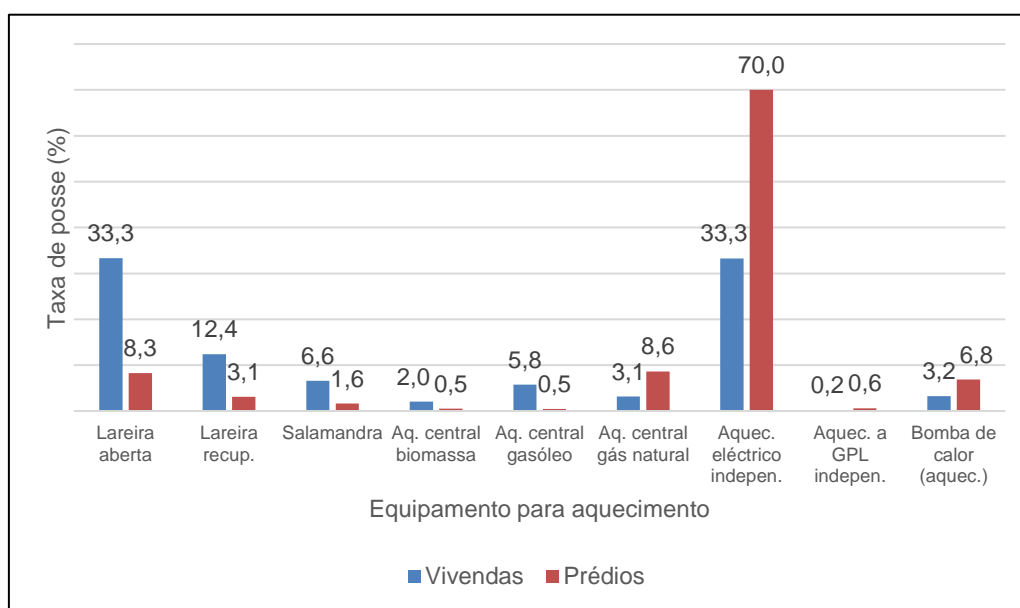


Figura 2.12 - Taxa de posse de equipamentos de aquecimento por tipo de edifício, Portugal, 2011 (adaptado de ClimAdaPT.local, 2015)

2.3 Tendências futuras de consumo

O conhecimento das tendências futuras do consumo energético para aquecimento e arrefecimento assume significativa relevância no que diz respeito ao planeamento, gestão e implementação de políticas energéticas e à aferição dos efeitos e resultados de eventuais políticas ou regulamentações que já estejam a ser ou que se encontrem prestes a ser aplicadas.

Aquando da preparação do “Quadro relativo ao clima e energia para 2030” e da “Comunicação de revisão relativa à Eficiência Energética” (Comissão Europeia, 2016b), a Comissão Europeia procedeu à modelação de vários cenários que se destinavam a avaliar os impactes das metas

de 2030 e a investigar possíveis formas de procedimento que permitam que, em 2050, o sistema energético possa cumprir o objetivo de manter o aquecimento global do planeta a um nível abaixo de 2°C. Nestes cenários, todo o sistema energético é alvo de modelação, não se focando apenas e em detalhe no aquecimento e arrefecimento. No entanto, estes usos nos diversos setores não deixam de ser considerados nestes cenários, tal como possíveis sinergias e *trade-off* associados, que ocorram entre setores (Comissão Europeia, 2016b). Assim, através destes cenários, torna-se possível estabelecer potenciais tendências e testar metas para a evolução do consumo de energia para aquecimento e arrefecimento até 2030 e 2050.

Foi criado um cenário de referência, representando os desenvolvimentos do sistema energético, baseados nas tendências e evolução atual e políticas já implementadas ou cuja implementação se encontra já vinculada. Foram ainda criados dois outros cenários definidos por políticas alternativas. Estes cenários permitem avaliar a evolução do aquecimento e arrefecimento, provocadas pelas medidas existentes, à luz dos objetivos das políticas energéticas para 2030 e 2050.

O cenário de referência, denominado “*2013 Reference scenario*”, inclui todas as políticas relevantes adotadas até à primavera de 2012, a nível da União Europeia e dos Estados-membros. É assumido que grande parte destas políticas, excetuando o Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE), são gradualmente suprimidas até 2020. Isto significa que os aspetos relativos ao aquecimento e arrefecimento, que na sua maioria não se encontram abrangidos pelo CELE, são alvo de um quadro de políticas mais reduzido e menos exigente.

No cenário “*EE27*” assume-se que é concretizada uma redução de 40.2% nas emissões de GEE, que 27.8% de energia provém de fontes renováveis e considera-se ainda uma quota de 27% respeitante à eficiência energética, na União Europeia. É um cenário que corresponde quase na sua totalidade às metas do quadro energético acordado para 2030, não considerando, porém, a revisão da meta de eficiência energética prevista para 2020, para 30%, solicitada pelo Conselho Europeu. Os objetivos indicativos de 2050 (redução de 80-95% das emissões de GEE) são praticamente atingidos neste cenário, visto que ocorre uma redução de 78.8% das emissões de GEE, nesse ano, comparativamente a 1990. Mais um cenário foi criado, nomeado “*GHG40RES30EE30*”, em que as emissões de GEE são reduzidas em 40.6%, a contribuição de energia renovável é de 30.3% e a eficiência energética situa-se nos 30%, em 2030. Em 2050 emissões sofrem uma redução de 81.8% comparativamente a 1990.

Estes cenários são projeções que testam combinações de medidas em vários quadrantes do sistema energético, com fim a uma determinada meta. As tendências e ordens de magnitude de alterações para o aquecimento e arrefecimento assumem maior relevância que os valores numéricos absolutos. Foi utilizado o modelo *PRIMES* para a cenarização. Para cada setor consumidor de energia, foi associada uma função de objetivo económico, otimizada por um agente de decisão representativo de cada setor. Para o setor residencial, foi formulada uma função de maximização de utilidade, ou seja, para a maximização do bem-estar e satisfação do consumidor. Em primeira instância, as necessidades de energia útil são determinadas para o

setor e alocadas por cada uso e processo. Estes usos e processos são organizados em estrutura de árvore, formulada matematicamente de forma a permitir relações de complementaridade e substituição entre si. No setor residencial, o modelo distingue cinco categorias de alojamento, definidas de acordo com o sistema utilizado para aquecimento de espaço. Cada categoria é dividida em cinco usos típicos de energia. Os dispositivos elétricos não destinados a aquecimento foram considerados num setor separado especial, independente do tipo de alojamento. Os cinco tipos de alojamentos considerados são: (1) Alojamentos, na forma de apartamentos, com caldeira central, que poderá ser utilizada a gás; (2) Alojamentos com principalmente equipamento de aquecimento elétrico (não parcial); (3) Alojamentos com equipamento a gás para aquecimento; (4) alojamentos conectados a uma rede de *district heating*; (5) alojamentos e habitações agrícolas parcialmente aquecidas.

Relativamente ao cenário de referência, as projeções indicaram que o consumo total de energia final do setor residencial será relativamente estável, diminuindo de 13063 PJ em 2015 para 12519, 12435 em 2020 e 2030 e aumentado para 12728 PJ em 2050 (Jakubcionis e Carlsson, 2017). A percentagem de energia final do setor residencial permanecerá em cerca de um quarto do total. A percentagem de energia renovável neste setor aumenta de 7% em 2020 para 9% e 13%, em 2020 e 2030. Os três cenários consideram uma queda no consumo de energia para aquecimento no setor residencial. Nos cenários “EE27” e “GHG40RES30EE30”, esta queda é mais acentuada, entre 20 e 30%, respetivamente desde 2015 até 2050. Relativamente ao arrefecimento, todos os cenários registam um aumento, sendo este mais acentuado no cenário de referência e no “EE27”. É revelante realçar que o arrefecimento tem um peso consideravelmente menor que o aquecimento, por isso o seu aumento ao longo dos anos tem menor influência na progressão do consumo do setor que a diminuição do aquecimento. O resultado das projeções para o aquecimento e arrefecimento pode ser observado na Figura 2.13.

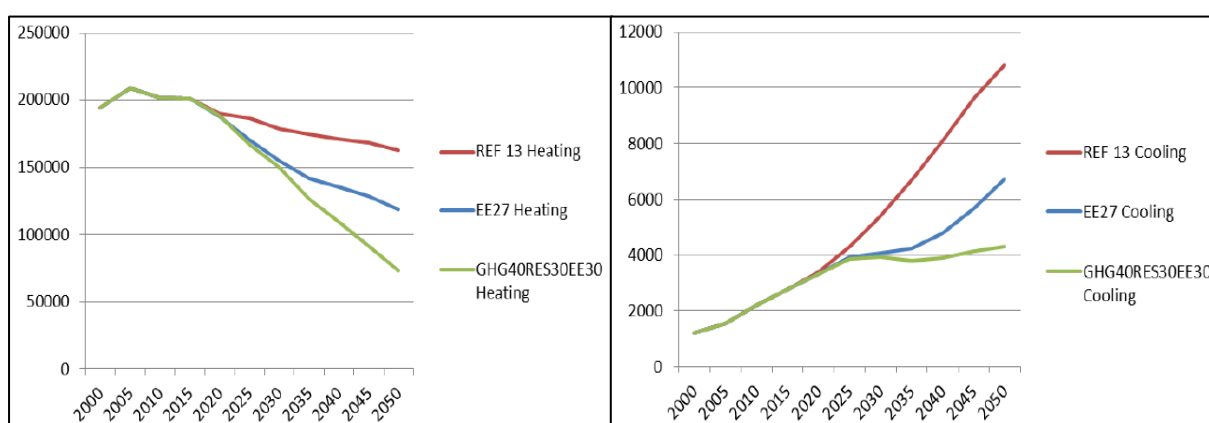


Figura 2.13 - Projeções de evolução do consumo de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) no setor residencial, UE, 2000-2050 (ktep) (Comissão Europeia, 2016b)

As projeções indicam um aumento do uso de equipamento elétricos para aquecimento, especialmente no cenário “GHG40RES30EE30”, sendo que se prevê que a eletricidade corresponda a um quarto do total de energia final utilizada no aquecimento e arrefecimento. O

número de equipamentos de aquecimento central e a gás estabiliza em 2030 e começa a decrescer em 2040. A Figura 2.14 e 2.15 ilustram as projeções de utilização de combustíveis para aquecimento e arrefecimento nos três cenários.

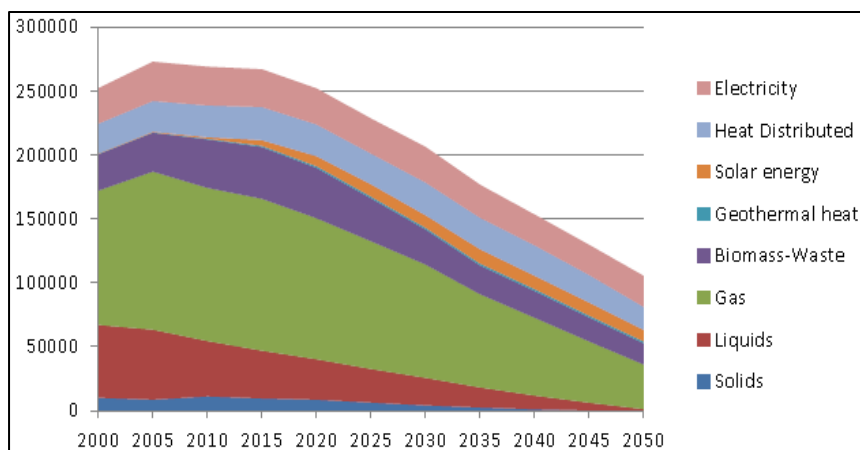


Figura 2.14 - Evolução do consumo de energia final, por combustível, no cenário "GHG40RES30EE30", EU, 2000-2050 (ktep) (Comissão Europeia, 2016b)

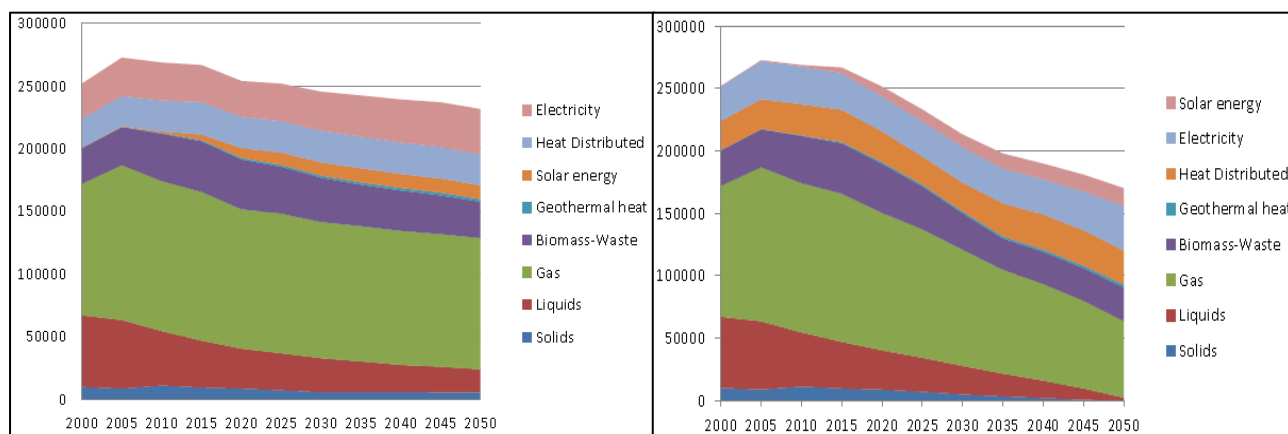


Figura 2.15 - Evolução do consumo de energia final, por combustível, no cenário de referência (esquerda) e cenário "EE27" (direita), EU, 2000-2050 (ktep) (Comissão Europeia, 2016b)

No seu estudo sobre as tendências e forças motrizes do aquecimento e arrefecimento, Ürgen-Vorsatz *et al.* (2015) corrobora a ideia de que, na Europa Ocidental, a quantidade de energia final conjunta para estes dois usos de energia no setor residencial registrará uma diminuição até 2050. Estes dados resultam da modelação de um cenário de "Frozen Efficiency", em que o stock de edifícios regional e global não é alvo de nenhuma política ou desenvolvimento tecnológico em 2050. Por outras palavras, o desempenho energético de edifícios novos ou reabilitados é a mesma que em 2005, ano base. Isto poderá estar relacionado com a diminuição da área dos alojamentos e do número de pessoas a residir nas habitações, fatores *determinantes para o* consumo de energia associado a estes usos. Para a criação deste cenário foi utilizado o modelo "High Energy Building" (3CSEP-HEB), desenvolvido pelo *Centre for Climate Change and Sustainable Energy Policy* (3CSEP).

É importante referir que, estando estes dois usos acoplados neste estudo, apenas se poderá afirmar que o consumo de energia de aquecimento diminuirá, pois representa um peso consideravelmente superior ao do arrefecimento, e determina a tendência do consumo agrupado dos dois usos. No entanto, apesar do consumo dos dois usos registar uma tendência decrescente, é possível que a evolução do consumo energético referente ao arrefecimento ocorra no sentido do aumento, tendo em conta que o seu peso pouco significativo poderá não estar a ser refletido na evolução do consumo total.

Jakubcionis e Carlsson (2017) referem que a procura de arrefecimento de espaços tem aumentado globalmente, de forma exponencial, sendo o uso de energia nos edifícios que apresenta maior crescimento. No seu estudo, estes autores estimaram o potencial consumo de energia final para arrefecimento no setor residencial, para os Estados-Membro da União Europeia. Esta estimativa é intemporal, sendo definida pela potencial taxa de posse de equipamentos de arrefecimento, que corresponde à taxa de posse em regiões com o mesmo valor de graus-dia nos Estados Unidos da América, e também pelos consumos específicos desse país, que se considera como análogos.

Foi determinado um valor médio anual potencial, para as necessidades energéticas dos edifícios residenciais para arrefecimento, de 1051 PJ, para toda a União Europeia, valor consideravelmente superior aos 48 PJ estimados pela Odyssee-Mure (Odyssee-Mure, 2016), para 2014. Assumindo uma taxa de posse de equipamentos igual a 100%, Werner (2015) chegou a conclusão no seu estudo que o potencial consumo na União Europeia poderia chegar aos 1620 PJ anuais, enquanto Rescue (2014) estimou um consumo potencial ainda mais significativo (2556 PJ). Relativamente ao consumo atual, Werner (2015) e Pardo et al. (2012) estimaram necessidades correspondentes a 87.8 e 170.1 PJ respetivamente, valores muito aquém do potencial calculado. Deste consumo total, cerca de 71% corresponde a quatro países do sul da Europa, Itália, Espanha, Grécia e Portugal. Jakubcionis e Carlsson (2017) estimaram um valor potencial para os edifícios residenciais de Portugal de aproximadamente 59 PJ, o que representa igualmente um considerável aumento relativamente ao consumo de 0,83 PJ, estimado pela Odyssee-Mure (Odyssee-Mure, 2016), para 2013. Corresponde igualmente a um aumento considerável, comparativamente às estimativas atuais de Werner (2015), cujo valor determinado foi de cerca de 4 PJ, e de Pardo et al. (2012), que estimou um consumo atual de arrefecimento para Portugal de 1.5 PJ.

Gouveia *et al.*, 2012 desenvolveu no seu estudo uma metodologia “*bottom-up*” com o objetivo de projetar a procura de serviços de energia nos edifícios residenciais em Portugal, até ao ano de 2050, entre os quais o aquecimento e arrefecimento de espaços. Foi desenvolvido um cenário de referência, a partir do qual se testaram variações plausíveis dos parâmetros que o definem, que resultaram em 140 cenários de análise de sensibilidade da procura de serviços referentes aos usos. Desta amostra, foram selecionados vinte e um cenários, correspondentes à maior e menor variação de cada parâmetro para cada uso de energia, cujos valores foram introduzidos no modelo TIMES_PT, de forma a estimar a energia final e o portfólio tecnológico associado.

Os resultados indicam uma tendência crescente de cerca de 2% por ano da procura energética para aquecimento até 2050, devido à consideração da melhoria das condições de conforto térmico e do aumento da taxa de posse de equipamentos de aquecimento. Relativamente ao arrefecimento de espaços, prevê-se um aumento ainda mais significativo da procura, justificada pelos reduzidos valores que apresenta em situação de referência no ano de 2005 e também pelo futuro aumento dos níveis de conforto térmico. No que respeita a energia final, Gouveia *et al.* (2012) verificou uma tendência decrescente no consumo para aquecimento de espaços, devido à maior utilização de bombas de calor, equipamento com elevada eficiência energética, e a medidas de melhoria do isolamento de edifícios. Para o arrefecimento, é previsto um aumento no consumo de energia final em 2050, comparativamente a 2005. A variação percentual da procura energética e consumo de energia final para aquecimento e arrefecimento, relativa aos anos de 2005 a 2050, encontra-se ilustrada na Figura 2.16.

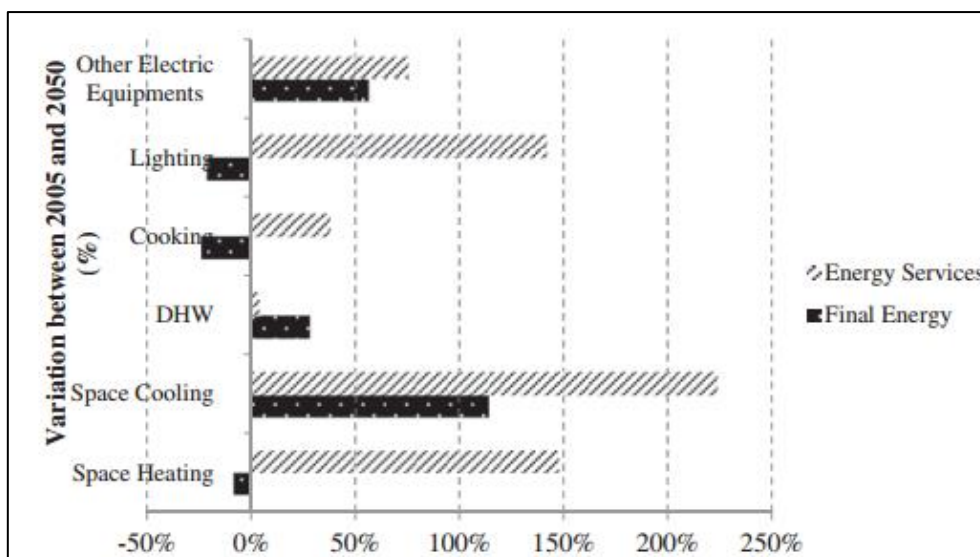


Figura 2.16 - Comparação da procura energética e consumo de energia final dos diferentes usos domésticos de energia entre 2005 e 2050 (Gouveia *et al.*, 2012)

2.4. Conforto Térmico

O conceito e significado de conforto térmico tem sido alvo de intensa discussão e debate desde a década de 1930 (Taleghani *et al.*, 2013). A partir de 1970, substanciais desenvolvimentos têm sido atingidos no que respeita à sua compreensão e das condições que o proporcionam (Parsons, 2010). No século XXI, este conceito tem sido alvo de renovada atenção, devido a uma maior consciencialização da sua importância para a vida da população, suportada em estudos científicos. Consequentemente tem ocorrido um aumento da exigência dos requisitos relacionados com este parâmetro, principalmente em ambientes artificiais (Parsons, 2010).

A ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) propôs, em 1966, uma definição para este conceito, que é geralmente aceite e adotada internacionalmente. Esta entidade definiu conforto térmico como “a condição da mente que

expressa satisfação com o ambiente térmico”. O facto de ser definido como uma “condição de mente” indica que o conforto térmico pode ser considerado como um fenómeno ou uma resposta psicológica (Parsons, 2010). Esta resposta é influenciada por diferenças pessoais ao nível do comportamento, da cultura e de outros fatores individuais e sociais (Djongyang *et al.*, 2010), o que lhe confere um carácter algo subjetivo (Ogbonna e Harris, 2008; Djongyang *et al.*, 2010). A sensação de conforto térmico constitui então um processo cognitivo que envolve fatores físicos, fisiológicos, psicológicos e até socioculturais (Lin e Deng, 2008; Djongyang *et al.*, 2010). É possível afirmar então que as razões pelas quais as pessoas manifestam conforto ou desconforto térmico, quer este seja o excesso de calor ou frio, são complexas (Parsons, 2010). As sensações térmicas podem ser diferentes para pessoas da mesma cultura, situadas no mesmo sítio e sujeitas às mesmas condições climáticas, tal é a combinação e complexidade do elevado número de fatores que influenciam essas sensações (Djongyang *et al.*, 2010).

A complexidade da perceção de conforto térmico reflete-se na impossibilidade de criar condições específicas de ambiente térmico interior onde todos os ocupantes estejam satisfeitos ou confortáveis. Até num cenário perfeito, crê-se que é praticamente impossível que menos de 5% dos ocupantes esteja insatisfeito com o ambiente térmico (Kunkel e Kontonasiou, 2015). Por esta razão, não existe apenas um padrão ou requisito de referência absoluto para o conforto térmico (Djongyang *et al.*, 2010).

Está comprovado que o conforto térmico afeta o estado psicológico, bem como a saúde das pessoas (Parsons, 2010). É um parâmetro chave para o bem-estar e produtividade no ambiente de trabalho (Fanger 1970; Wagner *et al.*, 2007; Djongyang *et al.*, 2010). Está igualmente relacionado com o consumo energético nos edifícios, visto que os seus requisitos determinam esse consumo, assumindo assim um papel relevante na sustentabilidade e na redução dos impactes ambientais dos mesmos (Yao *et al.*, 2009; Djongyang *et al.*, 2010) e do setor residencial por consequência. Os designers e engenheiros responsáveis pelos edifícios necessitam destes padrões para poder estimar as necessidades energéticas de climatização, com o objetivo de proporcionar as condições favoráveis de clima interior (Taleghani *et al.*, 2013).

Assim, com o propósito de assegurar um desempenho sustentável dos edifícios e garantir as condições de bem-estar dos ocupantes, o conforto térmico em ambientes interiores tem sido alvo da atenção de vários autores, que por sua vez têm investigado uma substancial variedade de aspetos à sua volta (Djongyang *et al.*, 2010). Um dos mais abordados e investigados tem sido precisamente o desenvolvimento e validação de métodos que possibilitem a avaliação e quantificação das condições de conforto térmico e posteriormente o estabelecimento de padrões de referência em ambientes interiores. Alguns destes métodos são agora a base para padrões nacionais e internacionais de conforto térmico (Djongyang *et al.*, 2010). Estes *standards* definem uma gama de valores relativa aos fatores que influenciam este parâmetro, como a temperatura do ar, que proporciona esse mesmo conforto (Djongyang *et al.*, 2010). No cômputo geral, podem ser identificadas duas categorias distintas de modelos utilizados para quantificar o conforto térmico: os modelos adaptativos e os modelos de balanço energético (Yang *et al.*, 2013).

O modelo adaptativo é uma abordagem subjetiva que se baseia na recolha de dados através de inquéritos de um estudo de campo (Djongyang *et al.*, 2010). Tem como objetivo analisar a verdadeira aceitabilidade do ambiente térmico, que depende do comportamento dos ocupantes, do contexto e das suas expectativas (Djongyang *et al.*, 2010). Neste método são recolhidos dados sobre a resposta térmica simultânea das pessoas no seu quotidiano (Nicol e Humphreys, 2002). Os participantes do estudo avaliam o estado do ambiente térmico, escolhendo um valor de uma escala que lhes é providenciada. Dois exemplos de escalas, *Bedford* e *ASHRAE*, podem ser observados na Figura 2.17. A partir das suas escolhas é medida a resposta térmica (Nicol e Humphreys, 2002).

Estes dados são posteriormente analisados através de métodos estatísticos, utilizando a variabilidade das condições térmicas, com o objetivo de encontrar a temperatura ou combinação de parâmetros térmicos que proporcionem um ambiente térmico neutro ou confortável (Nicol e Humphreys, 2002). Assim, esta análise pode ser utilizada para prever as temperaturas ou condições de conforto. Tem como desvantagens a probabilidade de erros nas relações previstas nas análises estatísticas, devido à variabilidade, e dificuldade na medição, das condições climáticas e também a generalização dos resultados de um inquérito para outros contextos (Nicol e Humphreys, 2002).

Bedford comfort scale		ASHRAE sensation scale	
Much too warm	7	Hot	7
Too warm	6	Warm	6
Comfortably warm	5	Slightly warm	5
Comfortable	4	Neutral	4
Comfortably cool	3	Slightly cool	3
Too cool	2	Cool	2
Much too cool	1	Cold	1

Figura 2.17 – Escalas de Bedford e ASHRAE (Adaptado de Parsons (2010))

Esta abordagem assenta no princípio adaptativo, que considera as pessoas como não sendo meras espectadoras do ambiente que as rodeia, isto é, que interagem e se adaptam a ele. Se ocorre alguma alteração que provoca desconforto, as pessoas tendem a procurar de novo o estado de conforto térmico (Yang *et al.*, 2013). Existem três tipos distintos de adaptação: as fisiológicas, as comportamentais e as psicológicas (Djongyang *et al.*, 2010). Tal como a sua denominação indica, a adaptação fisiológica corresponde a respostas fisiológicas do corpo. Este tipo de adaptação não é muito relevante num contexto de variações térmicas moderadas do ambiente de um edifício. A adaptação comportamental é a mais acessível e ao dispor das pessoas para ajustar o balanço energético do seu corpo. Exemplos deste tipo de adaptação são a abertura de uma janela ou a mudança de roupa. A adaptação psicológica diz respeito as variáveis cognitivas, sociais e culturais e descreve como os hábitos e expectativas podem alterar a perceção térmica (Yang *et al.*, 2013). Estudos de conforto adaptativo devem ser realizados nas rotinas diárias das pessoas, quer na sua habitação, quer no ambiente de trabalho, ou seja, o

estudo da adaptação ao ambiente térmico dos edifícios deve ser baseado em estudos de campo (Yang e tal., 2013).

Como referem Nicol e Humphreys (2002), *standards* ou requisitos desenvolvidos a partir deste método adaptativo podem ser utilizados para apoio no design de edifícios, devido à relação adaptativa entre temperaturas de conforto e temperaturas exteriores. No entanto, são mais indicados para definir boas práticas, fornecendo informação sobre quais os ambientes interiores mais prováveis de proporcionar conforto, sobre a gama de ambientes aceitáveis e o grau de alteração do ambiente interior que é aceitável para os ocupantes (Nicol e Humphreys, 2002).

Por sua vez, os modelos de balanço energético são desenvolvidos através da utilização de dados provenientes de testes experimentais em câmaras climáticas (Yang *et al.*, 2013). Nestes modelos é assumido que o sistema termorregulatório do corpo humano procura manter sempre uma temperatura constante. Assim, os efeitos entre o ambiente térmico e determinado corpo que nele se encontra são descritos pela lei da física termodinâmica e transferência de massa (Yang *et al.*, 2013). De forma a manter a temperatura constante, o corpo reagirá através de respostas fisiológicas a qualquer alteração no ambiente térmico (Yang *et al.*, 2013). Testes experimentais demonstraram a relação entre o desconforto causado pelo frio e a temperatura média da pele, e a relação entre o desconforto causado pelo calor e a humidade da pele e perda de calor latente, causada pela secreção de suor (Djongyang *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2013). Este desconforto térmico pode ser relativo a todo o corpo ou a apenas uma parte (Hensen, 1991; Djongyang *et al.*, 2010). Neste método considera-se que as sensações de frio ou calor são geralmente proporcionais à magnitude destas respostas fisiológicas (Yang *et al.*, 2013).

Fanger (1972) desenvolveu um dos primeiros métodos de previsão baseados no balanço energético. No balanço são incorporados seis parâmetros básicos variáveis com os quais podem ser determinados os termos da equação de balanço de calor: a temperatura do ar, a temperatura radiante, a humidade, a velocidade do ar, os quatro parâmetros ambientais, e ainda o isolamento da roupa e a energia térmica gerada no metabolismo (Parsons, 2010). Qualquer um destes fatores pode influenciar a sensação de conforto térmico, sendo que é a sua ação conjunta e integrada que o determina (Parsons, 2010). O autor considera que para um corpo estar em conforto térmico são necessárias três condições: o corpo tem de se encontrar em balanço energético e a temperatura média da pele e a taxa de suor têm de se encontrar dentro dos limites de conforto.

Através de trabalho experimental envolvendo um grupo de pessoas numa câmara climática, Fanger (1972) investigou os processos fisiológicos do corpo humano que ocorrem quando este se encontra perto da neutralidade térmica (Djongyang *et al.*, 2010). Chegou à conclusão que os únicos processos que influenciavam o balanço energético nessas condições eram a taxa de suor e a temperatura média da pele, que por sua vez dependiam do nível de atividade (Djongyang *et al.*, 2010). Assim, estabeleceu relações lineares entre essas duas variáveis e o nível de atividade. Substituiu depois estas duas relações nas equações de balanço energético e uma equação de conforto foi então obtida, que permite a previsão das condições em que os ocupantes se sentem

em estado termicamente neutro (Yang *et al.*, 2013). Esta equação foi posteriormente expandida para relacionar as condições estabelecidas com a escala térmica da ASHRAE, que definia sete pontos de sensação térmica (de -3 a 3, em que -3 era a sensação mais fria e 3 a mais quente). O resultado desta expansão ficou conhecido como o índice “*Predicted Mean Vote*” (PMV), ou o voto médio previsto, mais tarde utilizado, com base em estudos onde os participantes votavam nas suas sensações térmicas, para a criação de outro índice, o “*Predicted Percentage of Dissatisfied*” (PPD), ou percentagem prevista de insatisfeitos (Djongyang *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2013). Este modelo foi considerado uma grande contribuição para a avaliação do ambiente térmico interior, sendo utilizado em considerável escala para a análise do conforto térmico (Djongyang *et al.*, 2010). Normas internacionais como a ASHRAE 55 e a ISO 7730 utilizam este modelo para os requisitos que estabelecem.

Estes estudos baseados em testes experimentais em câmaras climáticas têm como vantagem os resultados consistentes e reproduzíveis que deles resultam, com hipótese de testar certos parâmetros, como a taxa metabólica e o tipo de roupa no caso do PMV. No entanto, esta abordagem peca por não representar realisticamente os ambientes do dia-a-dia, o que a torna apropriada mais para ambientes térmicos estáticos (Yang *et al.*, 2013).

Em comparação com os estudos com base em câmara climática, os modelos adaptativos permitem analisar uma maior quantidade de fatores, pois as pessoas reagem nas suas atividades diárias, sem restrições (Djongyang *et al.*, 2010). A consideração da adaptabilidade constitui a principal vantagem deste método em relação aos métodos baseados no balanço energético.

A importância da continuação do estudo do conforto térmico prende-se principalmente com a necessidade de melhorar a qualidade do ar interior e de aumentar a possibilidade de o controlar por parte das pessoas. Desta forma, será possível reduzir os impactos sobre a saúde e aumentar a eficiência do trabalho dos ocupantes de determinado ambiente. É igualmente relevante para a redução do consumo energético, de forma a permitir poupanças de energia e reduzir as emissões de dióxido de carbono (Nicol, 1993; Raw e Oseland, 1994; Taleghani *et al.*, 2013). A melhoria dos métodos de determinação e dos próprios valores *standard* de conforto térmico é um fim em si mesmo, na medida em que constitui um objetivo a cumprir, mas é também um meio para atingir os outros objetivos referidos.

No âmbito deste trabalho, o conforto térmico é analisado de forma distinta. A sua avaliação é efetuada a partir das temperaturas interiores de referência de conforto térmico, na estação de aquecimento e arrefecimento, e ventilação necessária para garantir a qualidade do ar no interior dos edifícios residenciais, definidas no regulamento relativo ao desempenho energético dos edifícios de habitação (REH), atualmente em vigor.

2.5 Pobreza energética

A pobreza é um dos mais graves e impactantes problemas que aflige ainda o Homem nos dias de hoje. Embora seja um termo relativo, sujeito a diferentes interpretações, a União Europeia define que estão em condições de pobreza “pessoas, famílias e grupos de pessoas cujos

recursos (materiais, culturais ou sociais) são de tal forma limitados que os excluem da possibilidade de terem uma vida minimamente aceitável, no Estado-Membro em que habitam” (Comissão Europeia, 2007). Um dos tipos de pobreza que aflige as populações é a pobreza energética. Este é um conceito que não se encontra ainda definido na legislação, de forma clara e unificadora, nos países da União Europeia, com exceção do Chipre, França, Irlanda e também Reino Unido (Pye e Dobbins, 2015), país onde precisamente surgiu o conceito, na década de 1980 (EPEE, 2009). Existem, portanto, várias definições de pobreza energética, mas todas se referem a um nível de consumo energético insuficiente para cumprir necessidades básicas (González-Eguino, 2015).

Numa das primeiras caracterizações deste conceito, Boardman (1991) definiu que um alojamento está em estado de pobreza energética quando uma percentagem superior a 10% do rendimento do domicílio tem de ser despendida em todos os usos de energia. A definição oficial no Reino Unido utiliza esta caracterização, acrescentando que a energia despendida em todos os usos, corresponde à necessária para um nível adequado ao conforto e manutenção do estado de saúde (EU Fuel Poverty Network, 2017). Esta definição é, no entanto, específica para as condições climáticas, métodos de aquecimento e avaliação de rendimento do país em questão, o que a poderá tornar inaplicável a outros Estados-membros. É relevante considerar-se então uma definição mais genérica, que possa ser aplicável a todos os países. Assim, pobreza energética corresponde à situação na qual um domicílio não tem rendimentos suficientes para pagar os usos de energia, de forma a satisfazer as suas necessidades domésticas básicas, ou em que é forçado a pagar uma percentagem desproporcionada dos seus rendimentos para esse mesmo fim (Herrero *et al.*, 2013). Esta definição inclui todos os usos de energia domésticos (Herrero *et al.*, 2013), considerando o nível de conforto térmico e não apenas o consumo energético. Porém, grande parte dos estudos de investigação consideram a pobreza energética principalmente no contexto do aquecimento de espaços, devido ao facto de ser um dos usos mais significativos, e às consequências que advém do seu aprovisionamento deficitário ou inexistente (Herrero *et al.*, 2013). O arrefecimento é igualmente um dos usos considerados.

É relevante salientar que, apesar de estarem relacionados, pobreza energética não deve ser confundida com falta de acesso a serviços energéticos modernos (Pachauri and Spreng, 2003; Birol, 2007; Herrero *et al.*, 2013), que é considerado um dos maiores problemas sociais nos países em desenvolvimento (Atsalis *et al.*, 2016). A falta de acesso não constitui um problema sistémico para os países desenvolvidos. Contudo, a impossibilidade financeira de provisão das necessidades energéticas básicas representa uma preocupação para vários destes Estados (Herrero e Ürges-Vorsatz, 2010; Atsalis *et al.*, 2016). Estima-se que entre 50 e 125 milhões de europeus se encontrem atualmente em situação de pobreza energética (Atanasiu *et al.*, 2014; Atsalis *et al.*, 2016). A Comissão Europeia reconhece, através da Diretiva 2009/72/EC, que este é um problema em crescendo nos Estados europeus, e realça a necessidade de o abordar e proceder à sua resolução (Atsalis *et al.*, 2016).

Edifícios e alojamentos de baixo desempenho energético, rendimentos reduzidos e elevados preços da energia (Cabeza, 2011; Thompson, 2013; Preston *et al.*, 2014; Desroches *et al.*, 2015;

Atsalis *et al.*, 2016), e também alojamentos com ocupantes de idade mais avançada ou com alguma incapacidade física (EPEE, 2009) são as causas mais relevantes deste problema.

Existem dois tipos de indicadores utilizados para a medição da pobreza energética: os objetivos e os subjetivos (Atsalis *et al.*, 2016). Os indicadores objetivos baseiam-se na proporção dos rendimentos domésticos que se destina a ser despendida em energia com o objetivo para manter o alojamento a temperatura adequada (Atsalis *et al.*, 2016). Esta abordagem é implementada utilizando dados dos rendimentos e despesa nos domicílios, disponíveis no inquérito do orçamento familiar (Household Budget Survey (HBS)), efetuado em todos os Estados-membros da União Europeia (Atsalis *et al.*, 2016). Estes indicadores podem ser facilmente comparados nos diferentes Estados, porém têm como desvantagem o facto de os dados serem referentes às despesas para provisão de eletricidade e combustíveis, e não ao custo necessário para assegurar o conforto térmico no alojamento (Atsalis *et al.*, 2016).

Por sua vez, as medidas subjetivas avaliam parâmetros básicos ou características de um domicílio, consideradas necessidades entendidas como sociais. (Healy, 2003; Atsalis *et al.*, 2016). Nestas medidas é questionada a capacidade dos domicílios em manter a temperatura adequada e de pagar as contas antes do prazo, bem como outras questões sobre as condições do alojamento (Price *et al.*, 2012). No *Survey of Income and Living Conditions* (EU – SILC) estão disponíveis vários indicadores de carência ao nível dos alojamentos. Este inquérito é efetuado anualmente a todos os Estados-Membro da União Europeia, o que possibilita igualmente a comparação. Três destes indicadores são recomendados para avaliar a pobreza energética (Herrero e Üрге-Vorsatz, 2010; Atsalis *et al.*, 2016): a inability para manter o alojamento adequadamente quente; atrasos no pagamento de contas; e a presença de infiltrações no teto, humidade nas paredes, chão e fundações ou decomposição do chão ou caixilhos das janelas (Atsalis *et al.*, 2016). Apesar de frequentemente utilizados, estes indicadores têm alguns detratores, como Thomson e Snell (2014), que consideram que estes indicadores originam estimativas imperfeitas deste problema, visto não terem sido desenvolvidos com o objetivo de o avaliar, sendo assim insuficientes para identificar a causa do problema.

A pobreza energética pode então ser considerada um fator que coloca em causa o conforto térmico das populações. Um dos vários fatores ambientais que afetam a saúde humana é o clima, particularmente as temperaturas extremas (Mercer, 2003). A exposição a temperaturas excessivamente frias corresponde constitui um risco à vida humana (Liddell e Morris, 2010). O aumento dos índices de mortalidade durante o inverno tem vindo a ser documentado há várias décadas (Healy, 2003; Liddell e Morris, 2010). O indicador “*excesso de mortalidade de inverno*” corresponde à comparação do número de mortes que ocorrem nos meses de inverno e o número de mortes nos outros meses do ano (Liddell e Morris, 2010) e utilizado para caracterizar de forma quantitativa o efeito das temperaturas nessa estação. O frio excessivo afeta a pressão e a composição química do sangue, aumentando o risco de ataques cardíacos, enfartes do miocárdio e embolismos pulmonares (Crawford *et al.*, 2003; Liddell e Morris, 2010). Têm igualmente um efeito nefasto para o sistema imunitário, acentuando o risco de infeções (Howieson and Hogan, 2005; Liddell e Morris, 2010). Pessoas que habitem de forma constante

em ambientes com temperaturas reduzidas estão sujeitas ao risco de efeitos cumulativos e duradouros na sua saúde, como a gripe, asma, pneumonia e artrite (Liddell e Morris, 2010). A associação entre a exposição ao frio e as infeções do trato respiratório encontram-se clinicamente comprovadas (Makinen *et al.*, 2009).

Apesar de não ser tão documentado, as temperaturas demasiado elevadas têm igualmente efeitos prejudiciais para a saúde. O número de mortes nos dias de temperaturas elevadas aumenta em zonas temperadas (IPCC, 2001), o que significa que existe igualmente um excesso de mortalidade no verão. Este aumento está relacionado com o aumento da frequência das ondas de calor e afeta principalmente pessoas idosos e pessoas com problemas de saúde (Semenza *et al.*, 1996; Kilbourne, 1997; IPCC, 2001). Pessoas que habitem em alojamentos sem sistemas de arrefecimento são igualmente vulneráveis (Semenza *et al.*, 1996; Luber e McGeehin, 2008). Exposição prolongada a altas temperaturas pode causar câibras, síncope, exaustão e insolação (Kilbourne, 1997; Luber e McGeehin, 2008). A mortalidade excessiva devido a temperaturas demasiado elevadas está relacionada com doenças cardiovasculares, cerebrovasculares e respiratórias (IPCC, 2001).

Assim, a consciencialização para os efeitos adversos que os ambientes com temperaturas desadequadas ao conforto térmico têm na saúde torna-se a principal razão por detrás do combate à pobreza energética em vários países no mundo (Liddell e Morris, 2010). A importância de erradicar este problema está refletida em dois dos objetivos de desenvolvimento sustentável, definidos em 2015 pela Organização das Nações Unidas: o primeiro, que consiste em “acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares” e o sétimo, que baseia em “assegurar o acesso universal, de confiança, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia”.

A população idosa corresponde a um dos grupos mais vulneráveis à pobreza energética e a efeitos adversos do frio na saúde (Rudge e Gilchrist, 2007). Os riscos associados às temperaturas baixas são igualmente significativos para pessoas que habitem em alojamentos com isolamento deficitário (Wilkinson *et al.*, 2007; Liddell e Morris, 2010). Por esta razão, países do sul da Europa, como a Itália e Grécia, apesar de terem invernos mais moderados comparativamente a países do Centro e Norte da Europa, têm frequentemente taxas de excesso de mortalidade na estação fria consideravelmente superiores a países nórdicos como a Finlândia e Suécia (Barnett *et al.*, 2005; Liddell e Morris, 2010). Os países com invernos mais rigorosos possuem em regra edifícios com melhor isolamento e menores taxas de pobreza energética (Liddell e Morris, 2010). Verifica-se que os edifícios nos países do sul da Europa possuem menor capacidade de adaptação a eventos climáticos extremos, particularmente no que se refere a temperaturas extremas. Devido as grandes diferenças sociais e geográficas associadas à distribuição da pobreza energética na União Europeia, as políticas destinadas à sua mitigação devem ser implementadas a nível regional (Bouzarovski, 2014).

Portugal encontra-se atualmente em situação bastante vulnerável no que à pobreza energética diz respeito. Healy (2003) analisou diferentes fatores que explicam a variação do excesso de

mortalidade no inverno para diferentes Estados-membros da União Europeia, e concluiu que os níveis elevados de excesso de mortalidade no inverno em Portugal se devem ao facto de ser um dos países com condições de habitação menos adequadas. Bouzarovski (2014) corroborou a ideia de que a reduzida qualidade dos edifícios contribui para a elevada prevalência de pobreza energética no país e acrescentou que a falta de sistemas de aquecimento adequados é igualmente um fator responsável. Healy (2003) destaca a melhoria das características térmicas e desempenho energético dos edifícios, como forma a atingir o conforto térmico poderia mitigar o problema da pobreza energética.

Analisando os indicadores do inquérito *EU – SILC*, em 2015, verifica-se que 23.8 % da população de Portugal referiu não ter possibilidade de manter a sua habitação adequadamente quente, 7.8% apresenta contas de serviços da sua habitação, como as contas do gás, água e luz, em atraso e 28.1% da população referiu ter infiltrações, humidade e decomposição no seu alojamento (Eurostat, 2015). Na Figura 2.18, observa-se o resultado deste inquérito para os três indicadores referidos, para todos os Estados-membros da União Europeia.

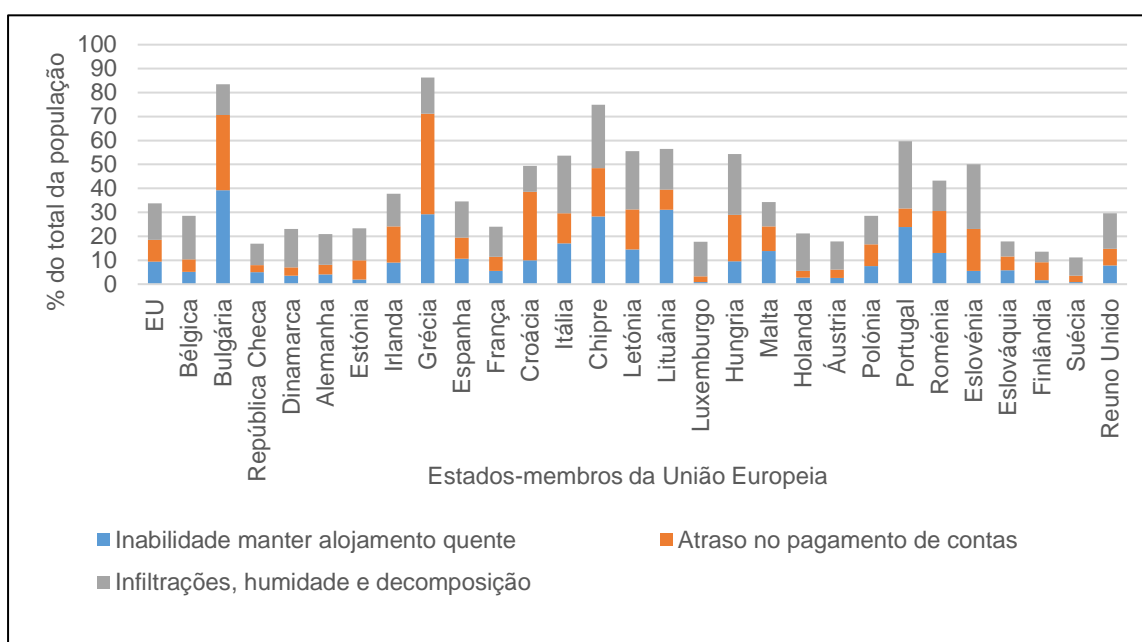


Figura 2.18 - Indicadores EU-SILC para avaliação da pobreza energética, UE-28, 2015 (Eurostat, 2015)

Comparativamente aos outros países europeus, no que diz respeito ao indicador “*Inabilidade de manter habitação adequadamente quente*”, Portugal é o quinto país da União Europeia com uma maior percentagem, enquanto relativamente ao indicador “*Infiltrações, humidade e decomposição no alojamento*”, ocupa a primeira posição. O país apresenta percentagens acima da média europeia nestes dois indicadores. No que diz respeito ao atraso no pagamento de contas de serviços do alojamento, a situação do país é mais favorável, apresentando a 17ª maior percentagem, inferior à média da União Europeia (Eurostat, 2015).

Em Portugal, desde 2007, o indicador relativo à inabilidade de manter o alojamento quente tem registado um gradual decréscimo, como é possível observar na Figura 2.19, o que constitui um progresso na direção certa. O resultado do indicador “*presença de infiltrações, humidade e*

decomposição na habitação” registou um aumento até 2014. De 2014 a 2015, a situação inverteu-se, tendo sido registada uma diminuição. Por sua vez, o indicador relativo ao atraso no pagamento de conta de serviços do alojamento tem vindo a aumentar, ainda que a sua percentagem seja pouco significativa (Eurostat, 2015).

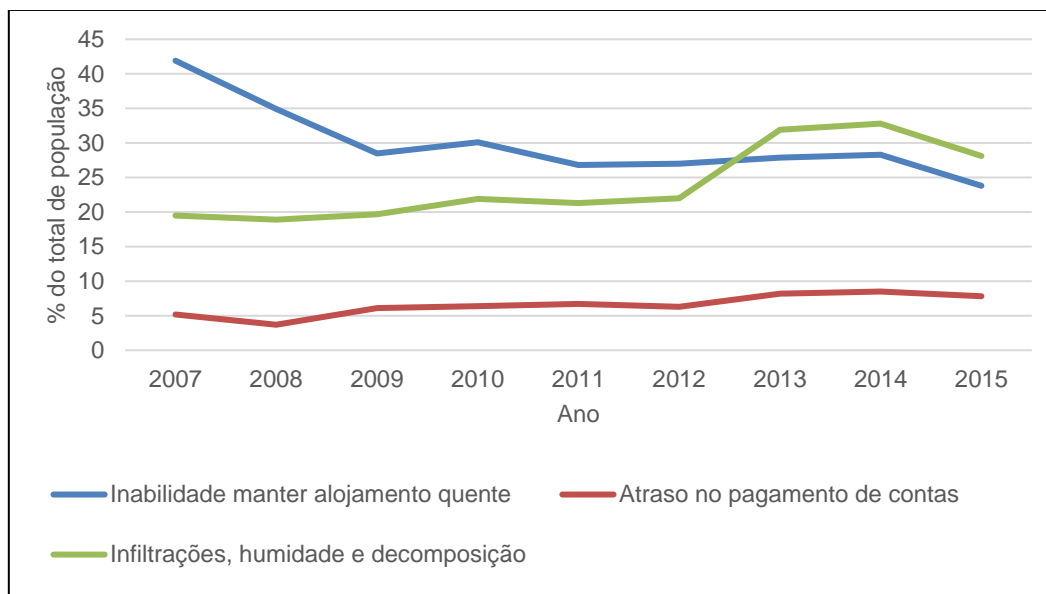


Figura 2.19 - Evolução dos resultados dos indicadores EU - SILC, Portugal, 2007-2015 (Eurostat, 2015)

No que respeita o resultado do indicador “*População a viver num alojamento não confortavelmente arrefecido no verão*” (Figura 2.20), Portugal apresenta a segunda maior percentagem de toda a União Europeia, com 35.7%, apenas atrás da Bulgária, o que poderá indiciar vulnerabilidade da população às temperaturas mais elevadas da estação de arrefecimento, relacionada com a incapacidade de manter o ambiente térmico adequado nos alojamentos. Portugal apresentou em 2015 um índice GINI de 34%, o que o torna um dos países europeus com maior desigualdade de rendimentos, acima dos 31% correspondentes à média europeia (Eurostat, 2015). Cerca de 30% da população tem direito a uma tarifa social para ajuda ao pagamento das contas de eletricidade e gás natural. Em 2015, os preços da eletricidade e gás, com todas as taxas incluídas foram 13 e 38%, respetivamente, superiores à média europeia (PORDATA, 2016).

Analisando a combinação destes indicadores, Bouzarovski (2014) situa Portugal como um dos três países com maior risco de pobreza energética, principalmente devido à incapacidade de manter temperaturas de conforto térmico nas habitações. Não existe atualmente uma definição legal de pobreza energética em Portugal e a disponibilidade de dados para avaliar este problema escasseiam. Simões *et al.* (2016) realizou um dos primeiros estudos nesta matéria. Utilizou dados do Censos 2011, como a idade, os rendimentos mensais, nível de formação académica e a taxa de desemprego e calculou a diferença entre as necessidades teóricas e consumos atuais de aquecimento e arrefecimento à luz do regulamento do desempenho energético de edifícios, RCCTE, para determinar e posteriormente mapear o potencial de pobreza energética de pessoas idosas em vinte e nove municípios de Portugal. Simões *et al.* (2016) concluiu no seu estudo que

22% e 29% da população estudada encontra-se potencialmente em pobreza energética, no que respeita o aquecimento e o arrefecimento, respetivamente. Relativamente a estes indicadores, foi verificada uma considerável variação ao longo do país.

Estes resultados e todos os indicadores analisados reforçam a ligação entre pobreza energética e incapacidade de manutenção do conforto térmico nas habitações e corroboram a necessidade de focar atenção para a pobreza energética nos países do sul da Europa no geral e em Portugal em particular. Nestes países, prevê-se que as alterações climáticas serão responsáveis pelo aumento de ondas de calor, da pobreza energética e consequentemente por impactes significativos na saúde pública (Simões *et al.*, 2016), o que amplifica a gravidade deste problema e a vulnerabilidade das populações ao mesmo.

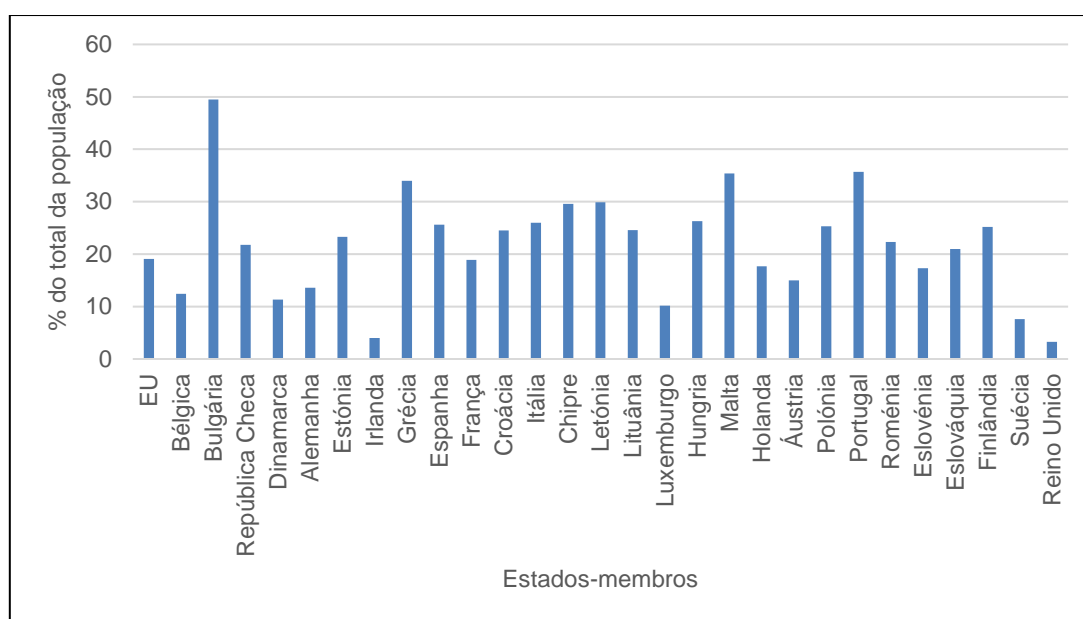


Figura 2.20 - Resultado do indicador "População a viver num alojamento não confortavelmente arrefecido durante o verão", EU-28, 2012 (Eurostat, 2015)

2.6 Legislação no âmbito do aquecimento, arrefecimento e conforto térmico em edifícios residenciais

Atualmente destacam-se duas diretivas na União Europeia, direcionadas para a mitigação do consumo de energia nos edifícios, a Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios, e a Diretiva 2012/27/UE respeitante à eficiência energética. O aquecimento e arrefecimento, constituindo dois usos de energia intrinsecamente relacionados com os edifícios, e cujo consumo representa fração significativa do consumo total dos edifícios, são alvo das alterações promovidas por estes atos legislativos.

A diretiva do desempenho energético dos edifícios veio promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios da União Europeia, tendo em conta as condições climáticas do exterior e condições locais, bem como requisitos climáticos do interior dos edifícios e a rentabilidade. Neste sentido, a diretiva define uma metodologia de cálculo do desempenho energético dos

edifícios e das frações autónomas. Estabelece requisitos mínimos para o desempenho energético de edifícios novos e frações autónomas novas, de edifícios existentes, de frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações, e de elementos construtivos da envolvente de edifícios e sistemas técnicos, quando forem renovados ou substituídos. A diretiva define também metas mínimas para os planos nacionais, no sentido de aumentar o número de edifícios “*Net Zero Energy*”, ou seja, edifícios com necessidades quase nulas de energia – todos os novos edifícios devem ser “*Net Zero Energy*” a 31 de dezembro de 2020.

São igualmente definidos requisitos mínimos de certificação energética dos edifícios ou frações autónomas, de inspeção regular das instalações de aquecimento e arrefecimento e também dos sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção. Os Estados-membros devem ainda elaborar uma lista de medidas e instrumentos de incentivos, de carácter financeiro ou outro, distintos dos estabelecidos na diretiva, com o objetivo de melhorar o desempenho energético dos edifícios.

Em Portugal, esta diretiva resultou na reformulação do antigo regulamento do desempenho energético dos edifícios que estava em vigor, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, estabelecido pela Diretiva nº2002/91/CE, que por sua vez foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei nº 78/2006. Esta reformulação foi transposta para a legislação nacional através do Decreto-Lei nº 118/2013, que deu origem a Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), bem como o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Esta revisão da legislação permitiu incluir estes três regulamentos em apenas num diploma, sendo que estas regulamentações, na anterior disposição, se encontravam definidos por três atos legislativos e com organização distinta. O REH reproduz então as medidas e requisitos da diretiva para os edifícios com fins residenciais, com o objetivo do cumprimento das metas europeias.

No que diz respeito à diretiva relativa à eficiência energética, esta estabelece, no âmbito geral, um quadro comum de medidas que favorecem a eficiência energética da União Europeia, com o propósito de atingir a meta de 20% de eficiência energética em 2020 e seguir no rumo do cumprimento das metas de longo prazo. Atua de forma a eliminar os obstáculos e ultrapassar deficiências no mercado da energia, que impedem a eficiência no aprovisionamento e utilização de energia. Estabelece requisitos mínimos para se atingir o objetivo de eficiência energética. Esta diretiva prevê que cada Estado-membro estabeleça objetivos nacionais nesta matéria para 2020, com base nos consumos de energia primária ou final, ou intensidade energética. No que respeita aos edifícios, é referido na diretiva que os Estados-membros devem estabelecer uma estratégia, a longo prazo, de investimento na renovação do seu parque nacional de edifícios residenciais e comerciais, públicos e privados. Esta estratégia deverá englobar uma panorâmica do parque imobiliário nacional, baseado numa amostragem estatística; a identificação das abordagens rentáveis das renovações relevantes para o tipo de edifício e zona climática; políticas e medidas de incentivo à profunda renovação de edifícios rentáveis; um plano futuro para

direcionar as decisões relativas ao investimento por particulares, indústria de construção e instituições financeiras; e ainda uma estimativa fidedigna das economias de energia esperadas e outros potenciais benefícios. Outras medidas relacionadas com edifícios foram estabelecidas por este documento, porém destinam-se a edifícios que não os do sector residencial.

Relativamente a medidas direcionadas ao aquecimento e arrefecimento em particular, a diretiva refere a necessidade de serem providenciados, dentro de uma perspetiva rentável, contadores que reflitam, com exatidão, o consumo real dos sistemas de aquecimento e arrefecimento. Os Estados-membros deverão também efetuar uma avaliação do potencial da aplicação de cogeração de elevada eficiência e de sistemas de aquecimento e arrefecimento urbano eficientes. Essa avaliação deverá ser comunicada à Comissão Europeia. Se a avaliação for favorável, os Estados-membros deverão criar as condições necessárias para a medida possa seguir avante.

Em Portugal, esta diretiva resultou, como esperado, no desenvolvimento da “*Estratégia Nacional para a Renovação de Edifícios*” (ENRE), de 2014. A ENRE promove o aumento da eficiência energética e consequentemente da qualidade do parque edificado, através da intervenção e renovação dos edifícios, e não somente através da nova construção. Esta estratégia insere-se numa estratégia ainda mais vasta, a “*Estratégia para a Eficiência Energética*”, materializada no Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE). Foi estabelecida pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 20 de agosto, e promove o aumento da eficiência energética e da utilização das energias renováveis, através da segurança de abastecimento e sustentabilidade económica e ambiental, à imagem dos objetivos definidos para todos os Estados-membros da União Europeia. Com o seu objetivo mais específico, a ENRE está em consonância e contribui para o objetivo integrador e final do PNAEE. Importa referir que as políticas de promoção de eficiência energética estão articuladas entre si e com outros instrumentos existentes como o quadro legal do REH e outra legislação em vigor. Ao garantir a coerência de todos os instrumentos existentes, será possível maximizar os benefícios provenientes destas políticas.

2.6.1 Estratégia da União Europeia para o Aquecimento e Arrefecimento

Para enfrentar e mitigar o consumo elevado de energia para aquecimento e arrefecimento, a Comissão Europeia criou pela primeira vez um plano estratégico especificamente direcionado a estes usos (Comissão Europeia, 2016a). O objetivo geral desta estratégia consiste em tornar o aquecimento e o arrefecimento mais eficiente e sustentável, e assim contribuir para os objetivos gerais da União, como a redução das importações energéticas, da dependência de combustíveis fósseis e das emissões de gases de efeito estufa, bem como a diminuição dos custos para os alojamentos e consequentemente para os agregados familiares e as empresas. A segurança do aprovisionamento de energia para estes usos é igualmente uma prioridade. Esta estratégia permite delinear um plano de ação que ponha termo à dissipação de energia nos edifícios, que maximize a eficiência dos sistemas de aquecimento e arrefecimento, que promova a eficiência

na indústria e que favoreça a integração do aquecimento e arrefecimento no sistema de eletricidade. Um dos seus objetivos, no que respeita aos edifícios, passa por eliminar as emissões de carbono de todo o stock até 2050, através da sua renovação, com ênfase no aumento da eficiência energética e da utilização de energias renováveis, aliada à descarbonização da produção de eletricidade e ao *district heating* (Comissão Europeia, 2016a).

Esta estratégia identifica alguns desafios que dificultam ainda o cumprimento destas metas. Segundo a Comissão Europeia, dois terços dos edifícios europeus foram construídos numa época em que os requisitos de eficiência eram limitados ou mesmo existentes, o que contribuiu para a sua fraca qualidade e elevada condutividade térmica. O tipo de propriedade dos edifícios constituiu frequentemente um entrave a estas renovações. Em edifícios de propriedade privada, os proprietários não investem na reabilitação por falta de recursos financeiros ou por falta de informação sobre os seus benefícios. Em edifícios privados arrendados, o principal obstáculo são os “*split incentives*”, isto é, situações em os proprietários minimizam os custos de investimento em medidas de promoção da eficiência energética pois os elevados custos que resultam da má qualidade do edifício são acartados no pagamento da renda pelos arrendatários. Os Fundos Europeus Estruturais e de Investimento (FEEI) e o programa de investigação e inovação *Horizon 2020* têm realizado um considerável investimento na eficiência energética e energia renovável nos edifícios, bem como em projetos de investigação sobre a mesma matéria. No entanto, o investimento público não deverá ser a principal força motriz, o mercado da eficiência energética terá de ser competitivo para oferecer soluções acessíveis aos consumidores. Assim, o financiamento poderá ser ainda um fator dificultador da implementação destas medidas. Relativamente aos equipamentos de aquecimento e arrefecimento, verifica-se que metade dos edifícios ainda utilizam sistemas de aquecimento instalados antes de 1992, com eficiências de 60% ou menos. Elevado número destes sistemas já ultrapassou o seu tempo de vida técnico. O difícil acesso da população a informação sobre os seus sistemas de climatização e sobre outras alternativas é identificado como uma justificação para este facto. No lado positivo, a Diretiva *Ecodesign* e os requisitos de certificação energética, estabelecidos pela diretiva relativa à performance de edifícios, foram responsáveis por medidas relevantes para contrariar esta problemática. O novo regulamento relativo aos gases fluorados de efeito de estufa vai igualmente acelerar a renovação dos sistemas de aquecimento e arrefecimento (Comissão Europeia, 2016a).

São realçadas as vantagens da mudança para os sistemas como as bombas de calor, aquecimento solar, geotérmico ou mesmo de calor residual e também a necessidade de aumentar o mercado para a redução dos preços destas alternativas. De acordo com esta estratégia, os Estados-membros devem criar incentivos para produtos com a mais alta classificação energética, tal como indicado na Diretiva de Certificação Energética (2010/30/EU), mas devem focar esses incentivos em particular nas soluções de aquecimento e arrefecimento a combustíveis não fósseis.

Para ultrapassar os obstáculos frisados e tornar o aquecimento e arrefecimento mais eficiente e sustentável, será necessária ação a nível local, regional e nacional. Refere-se também a

necessidade de revisão das diretivas relativas à performance dos edifícios e a eficiência energética. Esta estratégia influenciará as novas diretivas que irão substituir as atuais.

Devido aos requisitos e medidas da diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios, as necessidades do edificado vão gradualmente decrescer ao longo dos anos, com a renovação e construção de novos edifícios, e o consumo de energia de fontes renováveis aumentará. No entanto, a taxa de renovação é atualmente muito reduzida, situando-se entre 0.4 e 1.2%. No que concerne os edifícios residenciais, a Comissão Europeia pretende desenvolver um conjunto de medidas para facilitar a renovação de edifícios de múltiplos apartamentos e utilizar as inspeções a sistemas de aquecimento para fornecer informação sobre a eficiência dos sistemas de aquecimento e arrefecimento existentes (Comissão Europeia, 2016a).

Na revisão da diretiva relativa à eficiência energética, a Comissão procura promover as energias renováveis de forma acelerar a taxa de substituição das caldeiras a combustíveis fósseis por sistemas renováveis e mais eficientes e ainda aumentar o uso de energia renovável nas centrais de cogeração e *district heating*. Dará ainda apoio às autoridades locais no desenvolvimento de estratégias para promoção do aquecimento e arrefecimento renováveis e criará um *website* que forneça informação e permita a fácil comparação dos custos e benefícios de diferentes sistemas de aquecimento e arrefecimento. Procurará ainda desenvolver os sistemas de controlo e de contagem do consumo energético disponíveis, aumentar o feedback dos consumidores e dar oportunidade aos consumidores de participar na resposta à procura.

Nesta estratégia é destacada a importância das sinergias no sistema de energia. No futuro a rede elétrica integrará maior participação de energia renovável e haverá mais produtores descentralizados. Por isto, é necessária flexibilidade na procura e oferta, através da redução da procura, desenvolvimento dos mecanismos de resposta à procura e armazenamento de energia. Relativamente ao aquecimento e arrefecimento, será importante ligar estes usos à produção e distribuição de eletricidade, para reduzir os custos. O sistema de *district heating* e *cooling* e centrais de co- ou trigeração, preferencialmente com utilização de energias renováveis, em que se canaliza o calor residual para ser utilizado nos edifícios de habitação, são opções a considerar. Edifícios “*Smart*”, conectados a redes elétricas “*Smart*”, permitem o controlo e gestão à distância ou automático do aquecimento e arrefecimento, constituindo uma opção favorável para a redução dos gastos energéticos. A Comissão procurará incentivar a adesão a esta soluções.

2.6.2. Roteiro para a energia 2050

O roteiro para a energia em 2050 reforça os objetivos definidos nos instrumentos já analisados. Os objetivos para 2050 são, por sua vez, mais ambiciosos. A EU pretende reduzir, até 2050, as emissões de gases de efeito de estufa para um nível 80 a 95% inferior ao nível de 1990, assegurando sempre o aprovisionamento energético e a competitividade (Comissão Europeia, 2011). Para atingir este objetivo, será essencial primeiro cumprir as metas para 2020, embora esta não seja a única condição necessária. O cumprimento desta descarbonização implicará alterações profundas no sistema energético europeu. No que respeita ao aquecimento e

arrefecimento, é indicado no roteiro que a eletricidade terá um papel de crescente importância no sistema energético, contribuindo de forma mais significativa para a descarbonização desses dois usos igualmente. Por outras palavras, a eletricidade terá um maior peso, como fonte de energia, no aprovisionamento do aquecimento e arrefecimento. A eficiência energética é igualmente um dos focos deste roteiro, nomeadamente na necessidade de encontrar as medidas que originem a melhor solução, em termos de custos, entre a reabilitação de edifícios e a utilização de calor residual da geração de eletricidade em centrais de cogeração, que permita reduzir o consumo de energia em aquecimento e arrefecimento. Salienta-se por fim a relevância de fornecer aquecimento e arrefecimento por meio de opções de energia de baixo carbono (incluindo bombas de calor e acumuladores de calor) produzidas localmente, e principalmente por fontes de energia renovável, inclusivamente em redes de calor e frio (*"District heating and cooling"*) (Comissão Europeia, 2011)

2.6.3 Legislação relativa ao Conforto térmico

Não existe atualmente nenhuma legislação ou regulação exclusivamente direcionada para o conforto térmico. Os requisitos ou valores-padrão estabelecidos para este parâmetro encontram-se inseridos em regulações relativas à qualidade do ar interior dos edifícios. A nível europeu, os requisitos climáticos do ar interior são um dos fatores que a Diretiva 2010/31/EU do desempenho energético dos edifícios tem em conta na promoção da melhoria do desempenho dos edifícios. Os Estados-membros devem assegurar que os requisitos estabelecidos para garantir o desempenho energético mínimo dos edifícios tenham em conta as condições gerais de clima interior, bem como condições locais e a função e idade do edifício, de forma a evitar efeitos nefastos para as pessoas que nele habitem.

O Comité Europeu de Normalização (CEN) estabeleceu um conjunto de normas, baseadas na Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios. As normas europeias são aplicáveis principalmente a edifícios não-industriais onde o ambiente interior está relacionado com a ocupação humana e onde a produção ou processamento de matérias não têm um impacto significativo no ambiente do edifício (PVSites, 2016). São então aplicáveis em edifícios residenciais como vivendas e prédios (PVSites, 2016).

A Norma EN15251 corresponde a uma dessas normas. Nesta norma refere-se que os requisitos presentes nas regulações nacionais para o design e dimensionamento de edifícios e sistemas de climatização devem ser usados, assim como os valores de temperatura interior, para cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento. Se este não for o caso, esta norma define critérios e recomenda valores para parâmetros da qualidade do ambiente interior, como o ambiente térmico, a qualidade do ar, a iluminação e o ruído, determinantes para o design e avaliação do desempenho energético de edifícios.

Destaca-se o caso do ambiente térmico, em que o critério se baseia no modelo PMV/PPD. Este método é definido na norma EN ISO 7730, normal internacional adotada pela União Europeia. Constitui um método que permite determinar e quantificar a sensação térmica e o nível de

desconforto térmico, aplicável a pessoas saudáveis, expostas a ambientes moderados em que ocorrem desvios também moderados no conforto térmico. Apesar de criado para avaliar ambientes de trabalho, pode ser aplicado a outro tipo de ambientes, tornando-o num instrumento viável para avaliar o ambiente térmico em alojamentos.

A norma EN 13779 está relacionada com o design e implementação de sistemas de ventilação, pelo que aborda o ambiente térmico. No entanto, esta norma aplica-se somente a edifícios não-residenciais. Destaca-se ainda a norma EN ISO 7726, que especifica as características ou requisitos mínimos dos instrumentos e métodos utilizados para medir as quantidades físicas de certo parâmetro que caracteriza o ambiente térmico de um edifício. Esta norma não se destina a definir o índice de conforto ou o stress térmico, mas a normalizar o processo de registo de informação utilizada na determinação desse índice.

Em Portugal, as referências ao conforto térmico são vagas e breves. No REH, refere-se a necessidade de assegurar que os requisitos estabelecidos de qualidade térmica da envolvente, ventilação dos espaços e necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento garantam a melhoria do comportamento térmico do edifício e o conforto ambiente. Estes requisitos deverão resultar na redução das necessidades térmicas, tendo em conta as condições locais e a função e idade do edifício, evitando consequências negativas para as pessoas que nele habitem. Os referidos requisitos são definidos no regulamento em questão. Embora não haja nenhuma referência direta a valores de conforto térmico, todos os requisitos estabelecidos e diligências destes regulamentos têm como base a garantia de um ambiente térmico interior adequado, ou seja, de conforto térmico.

2.7 Metodologias de estimativa de necessidades de Aquecimento e Arrefecimento nos edifícios

Com o atual contexto de redução do consumo de energia e aumento de eficiência energética na União Europeia, que se traduz em diferentes regulamentos e metas, o trabalho de investigação sobre a exploração de recursos energéticos e consumo de energia tem assumido ainda maior relevância para os diferentes Estados-membros. Tendo em conta o seu significativo peso no consumo total de energia, o desempenho energético dos edifícios tem sido objeto da atenção de *stakeholders* de todos os setores (Magalhães e Leal, 2014). Devido aos regulamentos de que são alvo, essa atenção centra-se principalmente nas necessidades energéticas e no consumo energético atual (Magalhães e Leal, 2014). Considerando igualmente o significativo potencial dos edifícios para redução de emissões de dióxido de carbono, as previsões e estimativas das necessidades energéticas são uma importante ferramenta para os planeadores urbanísticos avaliarem possíveis medidas de conservação de energia (Kohler *et al.*, 2016). Cox *et al.*, (2015) considera que as estimativas de consumo de energia dos edifícios estão a tornar-se cada vez mais importantes, como base para a gestão e renovação energética, e para o planeamento de investimentos relacionados com design e tecnologia. No contexto da sustentabilidade urbana, a importância de avaliar as necessidades de energia no edificado residencial é inegável (Braulio-

Gonzalo *et al.*, 2016). Neste capítulo são apresentados os vários métodos de estimativa das necessidades energéticas dos edifícios e diferentes casos de aplicação. É igualmente abordado o *gap* energético, em particular as suas causas e casos de aplicação.

2.7.1 Métodos de determinação das necessidades energéticas

O aquecimento e arrefecimento constituem dois usos de energia que, para além de representarem uma percentagem substancial de energia consumida nos edifícios, são particularmente relevantes para a saúde e vida quotidiana do Homem, sendo assim objeto de algum escrutínio científico. Um dos objetos desse escrutínio é precisamente o estudo e estimativa das necessidades energéticas. As técnicas de estimativa das necessidades energéticas no setor residencial podem ser agrupadas em dois tipos de abordagem: *bottom-up* e *top-down*. A abordagem *top-down* baseia-se em indicadores macro-económicos, como o preço e o rendimento, e também em dados climáticos. Não considera os usos e respetivos consumos de energia individualmente, não permitindo assim a identificação de situações particulares em que é necessária uma melhoria no desempenho energético (Swan and Ugursal, 2009, Kavgic *et al.*, 2010; Braulio-Gonzalo *et al.*, 2016). Por outro lado, numa abordagem *bottom-up*, são extrapoladas as necessidades energéticas de um edifício ou conjuntos de edifícios, frequentemente com características díspares, a nível regional ou nacional. Posteriormente, é efetuada a agregação do stock do total dos edifícios, ou seja, os edifícios são agrupados consoante a sua tipologia, sendo assim possível calcular as necessidades da totalidade de uma área urbana e identificar aspetos que as influenciem (Swan and Ugursal, 2009, Kavgic *et al.*, 2010; Braulio-Gonzalo *et al.*, 2016). Esta abordagem é apoiada em informação mais detalhada e precisa dos edifícios e permite modelar diferentes opções tecnológicas e estruturais dos mesmos (Swan and Ugursal, 2009; Kavgic *et al.*, 2010; Braulio-Gonzalo *et al.*, 2016).

Os métodos de estimativa das necessidades relativos a estas abordagens podem, por sua vez, ser agrupados em dois tipos: a modelação e o método “*machine learning*” (Wilde, 2014). A modelação trata-se da aplicação de modelos físicos que utilizam dados sobre o edifício e os seus sistemas para estimar previsões de consumo teórico. Estes modelos podem corresponder, por ordem crescente de complexidade, a cálculos estacionários, métodos semi-dinâmicos, ou até simulações dinâmicas (Wilde, 2014). Esta complexidade reflete-se na representação das condições interiores e exteriores (cujos parâmetros se mantêm constantes durante um modelo estacionário, mas variam dinamicamente no tempo, numa simulação), nos sistemas dos edifícios (como sistemas de climatização), nas definições de controlo e no comportamento dos ocupantes (Wilde, 2014). A estacionariedade de um modelo não é sinónimo de uma estimativa de reduzida qualidade. Se os valores dos parâmetros forem fidedignos e corretos, um método estacionário pode produzir estimativas satisfatórias. No entanto, existe a tendência para que sistemas com mais detalhe sejam mais confiáveis (Wilde, 2014).

O segundo método (“*machine learning*”) baseia-se na correlação entre os parâmetros e os resultados, sem se proceder à modelação de sistemas e processos físicos (Wilde, 2014).

Engloba técnicas como análises de regressão, redes neurais artificiais e máquinas de vetor de suporte (Wilde, 2014). Estes métodos requerem dados, que podem resultar de medições ou até de modelos. Conjuntos de dados com maior longevidade e detalhe produzem melhores previsões de consumo (Wilde, 2014).

2.7.1.1 Métodos de Modelação

Relativamente aos métodos de modelação para estimativa de consumos teóricos, destacam-se o método dos graus-dia e a simulações dinâmicas de um edifício (Cox *et al.*, 2015). O aquecimento e arrefecimento são caracterizados por vários parâmetros climáticos como a temperatura do ar no exterior, a humidade, a irradiação solar e velocidade e direção do vento (Cox *et al.*, 2015). O método dos graus-dia baseia-se somente num destes parâmetros, a temperatura do ar. É um método estacionário de medida única, frequentemente adotado para associar as necessidades dos edifícios às características climáticas locais (Guan, 2009). O princípio deste método é a relação de proporcionalidade entre as necessidades de aquecimento e arrefecimento e a área acima ou abaixo de uma temperatura de equilíbrio (Cox *et al.*, 2015). A variação de temperatura é proporcional às perdas de calor do edifício, sendo também proporcional às necessidades (Kohler *et al.*, 2016).

Para um edifício situado numa determinada zona com as suas características climáticas, um valor de temperatura é definido como sendo o valor de temperatura correspondente ao estado de conforto térmico. Para qualquer temperatura abaixo desta, aquecimento é necessário para manter as condições de conforto. Para o arrefecimento, a situação é análoga - é definida uma temperatura de equilíbrio, tendo em conta os parâmetros climáticos do local onde o edifício se encontra, acima da qual é necessário arrefecimento para se manter um ambiente térmico confortável (Cox *et al.*, 2015). As temperaturas de equilíbrio são diferentes, na maioria dos casos (Cox *et al.*, 2015).

Este método assume uma relação linear entre as necessidades de energia e os graus abaixo da temperatura de equilíbrio, no caso do aquecimento, ou acima da temperatura de equilíbrio, caso se trate do arrefecimento. A equação 1 exemplifica o cálculo das necessidades através deste método:

$$Q_{net,h} = \alpha \cdot \frac{\sum_i^{8670} \max(0; t_{bh} - t_i)}{24} \quad (\text{equação 1})$$

Onde t_{bh} é a temperatura de equilíbrio do aquecimento; t_i é a temperatura do ar no exterior, por hora. A equação 2 representa o cálculo das necessidades de arrefecimento:

$$Q_{net,h} = \alpha \cdot \frac{\sum_i^{8670} \max(0; t_i - t_{bh})}{24} \quad (\text{equação 2})$$

Para o arrefecimento a fórmula é semelhante, com a diferença de, neste caso, se subtrair a temperatura de equilíbrio (t_{bh}) à temperatura no exterior (t_i). O fator α é a constante de proporcionalidade, específica de cada edifício, que transforma os graus-dia em necessidades. Pode ser igualmente utilizada uma taxa regional de perda de energia térmica de edifícios, que

representa as características médias dos edifícios da região (Kohler *et al.*, 2016). A relação entre as necessidades energéticas e a temperatura exterior do ar pode ser observada na Figura 2.21.

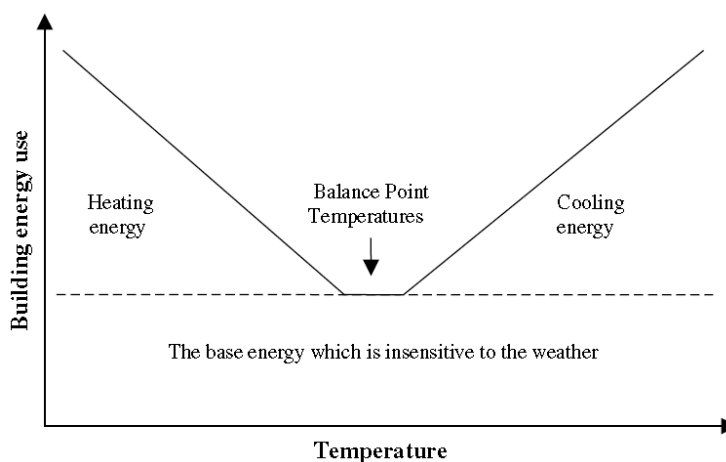


Figura 2.21 – Relação entre o consumo e uso de energia num edifício e a temperatura exterior (Guan, 2009)

Os grau-dias podem ser determinados a partir de dados horários de temperatura, temperaturas médias diárias, temperaturas máxima e mínima diária, temperaturas mensais e os desvios padrão (De Rosa *et al.*, 2015; Kohler, 2016) e até através de simulações climáticas globais (Giannakopoulos *et al.*, 2009; Kohler *et al.*, 2016). Quanto menor for a unidade temporal dos dados, mais precisos serão os dados dos graus-dia. (Kohler *et al.*, 2016). A nível regional ou de uma cidade, o método dos graus-dia representa a forma mais simples de utilizar a variação das temperaturas anuais para a estimativa ou previsão do consumo teórico de aquecimento (Kohler *et al.*, 2016).

Guan (2009) refere que a principal vantagem deste método é o facto de ser simples e rápido, sendo, no entanto, mais apropriado para casos em que a utilização do edifício e a eficiência dos equipamentos de aquecimento, ventilação e arrefecimento são constantes. Se estes parâmetros não forem constantes, os valores estimados das necessidades poderão ser pouco confiáveis ou fidedignos. Por outro lado, este método utiliza como base os valores de temperatura do ar exterior sem humidade, ou seja, a denominada “*dry bulb temperature*”, o que o torna mais limitado, visto que a humidade é um dos parâmetros que influenciam as necessidades de aquecimento e arrefecimento (Guan, 2009). Este método é, desta forma, mais apropriado para climas mais secos. Para o arrefecimento, têm sido utilizados valores de graus-dia de arrefecimento com base na “*wet bulb temperature*”, temperatura exterior que reflete a quantidade de vapor de água no ar. Este indicador revelou-se mais adequado que o anterior para estimar as necessidades de arrefecimento em climas húmidos. Isto deve-se ao facto de a carga energética de arrefecimento estar proximamente relacionada com a entalpia do ar, dependendo por isso da temperatura exterior e da humidade (Guan, 2009).

A simulação dinâmica é outro método frequentemente utilizado para a determinação das necessidades energéticas de um edifício. Neste método, o desempenho energético é calculado

com base na localização do edifício, tipo de construção, tipo de ventilação, ocupação e parâmetros climáticos da região onde se situa. São determinadas as perdas e ganhos de calor, tendo em conta as propriedades térmicas e ganhos internos do edifício e são considerados os parâmetros climáticos que afetam as necessidades de energia anuais, tais como os ganhos solares, vento e humidade (Cox *et al.*, 2015). Assim, estas simulações permitem ultrapassar algumas limitações inerentes ao método dos graus-dia. As temperaturas de equilíbrio de aquecimento e arrefecimento podem ser determinadas, para um edifício específico, com base nos resultados dos programas de simulação dinâmica. Uma simulação dinâmica requer um modelo sobre o edifício, com informação sobre as características do edifício, nomeadamente os elementos de aquecimento e arrefecimento e também um arquivo climático, com informação sobre as condições climáticas do local onde o edifício está localizado (Cox *et al.*, 2015). Este tipo de simulação poderá também ser utilizado para estudar o impacto das alterações climáticas nos edifícios, sendo que, para isso, terão de ser utilizados dados climáticos correspondentes a projeções futuras (Cox *et al.*, 2015).

O TAS, TRNSYS, BSim, IES, IDAICE ou EnergyPlus são exemplos de programas de simulação do desempenho energético de edifícios (Cox *et al.*, 2015; Kohler *et al.*, 2016). Quando se pretende conhecer as necessidades de aquecimento à escala do edifício, é frequente a utilização de modelos de simulação *bottom-up* para estimar estas necessidades (Kazas *et al.*, 2015; Moreci *et al.*, 2016; Kohler *et al.*, 2016). Para estimar as necessidades a menor escala, para uma cidade ou região, o stock de edifícios é classificado em diferentes tipologias (Shimoda *et al.*, 2004; Mastrucci *et al.*, 2014; Kohler *et al.*, 2016). Estas distinguem-se pelas diferentes características e parâmetros do tipo de edifício que representam, sendo que cada tipologia possui o seu próprio perfil de necessidades, que pode ser obtido através da utilização dos referidos modelos. As necessidades correspondentes a cada perfil são posteriormente multiplicadas pelo número de edifícios do stock da cidade que correspondem aos respetivos perfis, sendo assim possível obter as necessidades energéticas de aquecimento de espaços de toda a cidade (Kohler *et al.*, 2016).

A forma como estes modelos são desenvolvidos dificulta a consideração de várias características como a geometria dos edifícios, a separação de zonas termicamente homogêneas dentro do edifício e a diferenciação de estruturas de parede, sistemas de envidraçados e sistemas de proteção solar. Dificulta também a consideração dos ganhos solares e ganhos passivos dos ocupantes (Kohler *et al.* 2016). Tem sido demonstrado que estes modelos de simulação poderão sobrestimar ou subestimar as necessidades de aquecimento e arrefecimento, por considerarem os edifícios como elementos isolados (Han *et al.*, 2017). A simulação dinâmica tem sido cada vez mais utilizada, particularmente para a análise do desempenho energético das envolventes de edifícios e de diferentes sistemas passivos e ativos de aquecimento e arrefecimento (Jentsch, 2008; Kershaw e Coley, 2012; Cox *et al.*, 2015).

2.7.1.2. Casos de aplicação

São vários os autores que desenvolveram trabalhos de investigação sobre a estimativa das necessidades energéticas na sua totalidade, ou somente para aquecimento e arrefecimento,

quer seja para um edifício em particular ou para uma zona urbana ou até cidade e país. Cada estuda apresenta a sua metodologia específica, adaptada aos objetivos que o autor pretende atingir. De seguida, descrevem-se alguns destes estudos como exemplo de diferentes metodologias.

Kohler *et al.* (2016) utilizou o método dos graus-dia, juntamente com sistema de modelação climático urbano, como base para o seu estudo de avaliação das necessidades energéticas para aquecimento dos edifícios de Estrasburgo. A metodologia consiste na criação de um perfil de necessidades para os edifícios da cidade de Estrasburgo utilizando para isso um sistema de modelos urbanos e meteorológicos. Foi utilizado inicialmente o modelo de efeito de parametrização do edifício, no qual são determinadas as transferências de turbulência, a energia e humidade entre a superfície e a atmosfera, induzidas por obstáculos cúbicos tridimensionais, que representam os edifícios. Este modelo pode ajudar a determinar os perfis de temperatura vertical das cidades, pois considera as trocas reduzidas de turbulência, as interações mútuas de radiação entre os edifícios e as ruas, bem como as diferentes características e trocas térmicas das várias partes do edifício. Com os dados obtidos do modelo de efeito de parametrização, é utilizado o modelo energético do edifício, que calcula o balanço energético de cada piso de um edifício padrão ocupado e que define de que forma a energia resultante é transmitida às imediações do edifício. As necessidades de aquecimento são calculadas a partir do valor do balanço energético no interior do edifício, considerando variações diurnas nos ganhos internos (devido à radiação solar e operação do edifício) e também as perdas de energia (decorrentes da ventilação natural e transmissões de energia pelas paredes). São calculadas as necessidades de aquecimento por hora, necessárias para garantir os requisitos de conforto térmico. São ainda simuladas as temperaturas do ar por hora, através do modelo WRF (sistema de modelação de clima urbano).

Os dados de temperatura e das necessidades foram então relacionados através de uma representação gráfica, gerando um perfil de energia da cidade. O declive da regressão linear que melhor define a relação entre os dados corresponde à taxa de perda de calor da cidade, enquanto o ponto de interceção da reta com o eixo representado pelas temperaturas representa a temperatura base do stock de edifícios. Com estes dois parâmetros estimados, e com os valores de temperatura horária da cidade previamente obtidos, foi possível determinar as necessidades de aquecimento da cidade, utilizando o método dos graus-dias.

Moustris *et al.* (2015) determinou o consumo energético de aquecimento e arrefecimento da grande área urbana de Atenas, através do método dos graus-dias. Em primeiro lugar, estimou os graus-dia de aquecimento e arrefecimento, utilizando dados horários de temperatura do ar, retirados de oito estações de monitorização localizados dentro dos limites da área urbana de Atenas. De seguida, utilizou uma fórmula que relaciona os graus-dia com as necessidades de aquecimento (equação 3).

$$Q_h = \frac{U' \cdot AHDD \cdot 24}{\eta} \quad (\text{equação 3})$$

Para além da soma dos graus-dia, representada por *AHDD*, as necessidades dependem ainda do coeficiente geral de perdas térmicas (U') e são inversamente proporcionais ao coeficiente de eficiência das fontes de calor internas (η).

O coeficiente de perdas térmicas foi determinado pela fórmula ilustrada na equação 4, utilizando a área dos componentes (A), o coeficiente de transferência de calor dos materiais do edifício (U), a taxa de infiltração do ar (N) e ainda o volume do espaço (V). O fator numérico 1/3 resulta do produto entre do calor específico do ar, C_p , e da densidade do ar, ρ_a .

$$U' = \frac{A \cdot U + \frac{1}{3} \cdot N \cdot V}{1000} \quad (\text{equação 4})$$

As necessidades de arrefecimento foram calculadas através da equação 5. Os graus-dia de arrefecimento, *ACDD*, são multiplicados pelo caudal ar arrefecido (\dot{m}), em quilogramas por segundo, pelo calor específico do ar (C_p), em kJ/kg/K e por 24 horas, que corresponde à duração de um dia. O total é dividido pelo coeficiente de desempenho do sistema de arrefecimento (*COP*).

$$Q_c = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot ACDD \cdot 24}{COP} \quad (\text{equação 5})$$

Jylhää *et al.* (2015) desenvolveu uma metodologia para avaliar as necessidades ou procura energética atuais e futuras de aquecimento e arrefecimento em edifícios residenciais na Finlândia, com foco no estudo das alterações climáticas. Para tal, centrou o seu estudo numa moradia isolada típica do país. Para estimar as necessidades associadas a estes usos, foi utilizado o programa de simulação IDA Indoor Climate and Energy (Jylhää *et al.*, 2015), que, através de um algoritmo, permitiu efetuar a modelação de edifícios de múltiplas zonas, sistemas de aquecimento e arrefecimento, cargas térmicas internas provenientes dos habitantes, equipamentos e iluminação e ainda das influências das condições meteorológicas, incluindo os ganhos solares. Foram consideradas as temperaturas de conforto de 21.5 e 23°C dependendo da zona, para o aquecimento, e a temperatura de 25°C para o arrefecimento. Foram testados três diferentes de equipamentos de climatização: no caso A assumiu-se que o aquecimento era realizado com recurso a eletricidade e que o sistema de arrefecimento era mecânico; no caso B considerou-se *district heating* e um sistema de arrefecimento mecânico; e no caso C foi considerada uma bomba de calor a energia geotérmica para o aquecimento e um furo subterrâneo para arrefecimento natural. As performances energéticas dos sistemas de climatização corresponderam aos níveis médios atuais na Finlândia. Relativamente à estimativa das necessidades atuais, o autor verificou que o consumo de energia para aquecimento foi 5% e 30% superior às necessidades, nos casos A e B e 60% inferiores no caso C. Para o arrefecimento, o consumo foi um terço nos casos A e B e 3% no caso C.

No seu estudo, Braulio-Gonzalo *et al.* (2016) procurou fazer uma previsão da performance energética e do conforto térmico interior dos stocks de edifícios residenciais, à escala de um bairro e de uma cidade, em Espanha, através de uma metodologia *bottom-up*. As variáveis de *output* analisadas foram as necessidades de aquecimento e arrefecimento e as horas de desconforto térmico de aquecimento e arrefecimento, isto é, horas em que a temperatura e humidade não cumprem os requisitos de conforto térmico. Para estudar estas variáveis, foram seleccionados cinco fatores: a geometria do *layout* urbano em que o edifício se encontra; o rácio entre a altura dos edifícios vizinhos e largura da rua; a influência solar; o rácio entre a área total da superfície do edifício e o seu volume; e ainda o ano de construção do edifício. Todos estes parâmetros têm a eles associados parâmetros que são posteriormente utilizados para o cálculo das necessidades. No que diz respeito à metodologia, o autor começou por efetuar a taxonomia dos edifícios a quatro escalas diferentes, cidade, bairro, bloco e edifício. Assim, são identificados os tipos de blocos residenciais e de edifícios que existem no bairro e são definidos os seus parâmetros. Na segunda fase da metodologia, edifícios representativos de cada tipologia são seleccionados e modelados no contexto do seu bloco residencial, combinando os valores dos cinco fatores referidos. Várias combinações destes parâmetros foram testadas e um conjunto de simulações foram efetuadas, através do programa *EnergyPlus*, obtendo assim um conjunto de resultados referentes às variáveis necessidades e horas de desconforto de aquecimento e arrefecimento. Os resultados foram depois processados e tratados estatisticamente para se obter a previsão das variáveis para todo o stock de edifícios. Foi efetuada uma análise de sensibilidade para se perceber quais os fatores que afetam os resultados das variáveis. Obteve-se uma equação dependente dos fatores, para cada variável. Assim, com estes algoritmos, foi possível estimar as variáveis para edifícios individuais e, conseqüentemente, agregar os resultados para avaliar todo o stock de edifícios, numa abordagem *bottom-up*. Os resultados foram mapeados através de um software *GIS*.

Jakubcionis e Carlsson (2017) procuraram estimar o potencial das necessidades de arrefecimento de espaços na União Europeia. Para atingir esse objetivo, foram calculadas as necessidades específicas de arrefecimento para todos os Estados-membros, utilizando-se os Estados-Unidos da América como *proxy*. Para esse propósito, foram calculados os valores médios de graus-dias de aquecimento para 894 estações meteorológicas localizadas pelas União Europeia, Noruega, Suíça e outros países vizinhos como os países balcânicos, a Turquia e a Rússia, utilizando os dados do projeto *European Climate Assessment and Dataset* (Jakubcionis e Carlsson, 2017). Utilizando ferramentas *GIS*, foi criado um *raster* através de uma interpolação pela ponderação do inverso da distância dos dados de graus-dias que seguidamente foi unido a um mapa com as divisões NUT3 da União Europeia. Isto permitiu estabelecer os valores de graus-dia para todas estas divisões na União Europeia. A mesma metodologia foi executada em paralelo para os condados dos Estados-Unidos, tendo sido realizada uma média ponderada pelo número de alojamentos dos valores de graus-dia para se obter os valores por Estado. Para os EUA, foram obtidos os dados de consumo específico de energia para arrefecimento e as taxas de posse de equipamentos de arrefecimento. O consumo

específico dos diferentes Estados dos Estados Unidos foi determinado utilizando o consumo anual de eletricidade, taxa de posse de equipamentos de arrefecimento e área. Foram determinadas regressões para o consumo específico de arrefecimento e para a taxa de posse, a depender apenas dos graus-dia.

Foi assumido que, para as mesmas condições climáticas, os valores desses indicadores seriam os mesmos para a União Europeia e Estados Unidos, ou seja, que o desempenho energético dos edifícios estaria ao mesmo nível. Assim, para cada região NUT3, com o respetivo valor estimado de graus-dia, foi possível estimar a taxa de posse e consumo específico. Sabendo que as taxas de posse estimadas para os Estados-membros europeus correspondem às taxas de posse potencial, os valores de consumo específico e a área e taxa de posse foram multiplicados para cada Estado-membro, resultando no consumo potencial de arrefecimento.

No âmbito do projeto Stratego (Möller, 2015) foram quantificadas as necessidades de aquecimento de espaços e de água, e de arrefecimento, dos setores residenciais e comerciais, para a União Europeia e respetivos Estados-membros. Para o setor residencial, os cálculos das necessidades energéticas para aquecimento de espaços e água basearam-se na utilização dos balanços energéticos nacionais corrigidos para o ano de 2010 e num inquérito ao consumo de eletricidade para aquecimento. Estabelecendo os volumes nacionais de combustíveis e fornecimento de energia nos edifícios para aquecimento e arrefecimento, e utilizando ainda valores médios atuais de eficiências dos sistemas de aquecimento como caldeiras, aquecedores e bombas de calor, determinou-se a energia final de aquecimento a que correspondem. Foi igualmente importante a informação relativa as percentagens de eletricidade utilizadas respetivamente para as bombas de calor e aquecedores (Möller, 2015). De seguida, foram utilizados os dados de população nacional e regional, retirados da Eurostat, para determinar as necessidades específicas (*per capita*), os fatores de índice climático regional (*European Heating Index*) e para ajustar os valores nacionais às condições regionais. Foi também utilizada a divisão regional do território europeu, retirada do portal Eurostat/GISCO, para analisar as condições locais. A utilização do *European Heating Index* permitiu considerar as variações climáticas dentro de cada Estado-membro. Os valores médios nacionais específicos de aquecimento puderam então ser ajustados e associados à população de cada região (NUT3), resultando estimativas de aquecimento regionais ajustadas ao clima local.

No que diz respeito as necessidades de arrefecimento, estas dependem de três fatores: das necessidades específicas de arrefecimento, das áreas dos edifícios e do grau de saturação. Foi recolhido um conjunto de valores de energia de arrefecimento, providenciados por *district heating*, e ainda outro conjunto referente ao consumo de eletricidade utilizada para arrefecimento, retirado de várias fontes de literatura. Todos estes dados são relativos ao setor comercial. Os dados foram representados graficamente, com o *European Cooling Index* no eixo das abcissas. Sabendo que o rácio de eficiência energética corresponde ao rácio entre a energia útil de arrefecimento e a eletricidade do compressor, foi efetuada uma regressão linear a ambos e fazendo o quociente entre os dois declives, obteve-se a eficiência média de arrefecimento (SEER). Utilizando esta eficiência e os valores de energia útil, obtiveram-se as necessidades

específicas de energia final para arrefecimento. Como dados análogos para o setor residencial não se encontravam disponíveis, assumiu-se que as necessidades de arrefecimento correspondem a 45% das necessidades do setor comercial (Dalin *et al.*, 2005; Rescue, 2014; Möller, 2015). Os dados referentes às áreas arrefecidas dos edifícios foram facilmente obtidos, ao contrário dos dados das taxas de posse de equipamentos de arrefecimento).

Quer para o setor residencial quer para o comercial, os valores das taxas de posse foram obtidos de vários grupos de estimativas. Várias destas estimativas podem ser questionadas, o que é sintoma da reduzida qualidade dos dados de taxas de posse. É referido que usualmente é utilizado um valor agregado para toda a União Europeia (Rescue, 2014; Möller, 2015). Foi assumido um valor de 10% quando nenhuma informação se encontrava disponível. Obtiveram-se assim as necessidades de arrefecimento para todos os Estados-membros. Por fim foram mapeadas as necessidades de aquecimento para cinco países como funções de distribuição da população, uso do solo e impermeabilização do solo, utilizando para esse propósito um sistema GIS. Foram também mapeadas as necessidades de arrefecimento, mas apenas para o setor comercial. Neste projeto é destacada a importância do mapeamento das necessidades de aquecimento e arrefecimento como ferramenta para o desenvolvimento de políticas energéticas de sustentabilidade e implementação de diretivas, com as quais se pretenda obter sistemas energéticos com maior eficiência energética no fornecimento e também nos usos de energia final.

Lopes (2010) procurou caracterizar o edificado residencial de Portugal, bem como as necessidades associadas a este edificado, objetivo que partilha semelhanças com o que se pretende realizar neste trabalho. Posteriormente estudou o potencial de poupança de energia de climatização através da simulação e teste de várias medidas de reabilitação dos edifícios. Para caracterizar o desempenho energético do edificado, Lopes (2010) caracterizou diferentes regiões do país, de acordo com a representatividade, localização e semelhança de tipos de edifícios residenciais e desenvolveu casos de estudo ou tipologias representativas de tipos de edifícios distintos.

Para além da determinação das necessidades, em alguns estudos procede-se igualmente à análise do consumo real ou efetivo ao nível dos edifícios, frequentemente para proceder a comparações entre estas duas variáveis. A forma como estes dados de consumo efetivo são obtidos pode também ser diferenciado (Wilde, 2014). A rápida implementação de contadores, com tecnologia de leitura automática têm sido uma fonte significativa de dados de consumo. O intervalo de tempo em que os dados são disponibilizados varia entre um ano até poucos segundos. Alguns destes contadores disponibilizam apenas dados do consumo total do edifício, enquanto nos edifícios poderá existir um sistema de contadores que disponibilizam dados de consumo por uso final e aparelhos individuais. Esta é uma forma de obter a informação sobre o consumo real (Wilde, 2014). Em alguns casos, os contadores fornecem informação sobre as condições do ar interior, ocupação e sistemas de controlo (Wilde, 2014). Com dados relativos à qualidade do ar interior de um edifício, e utilizando algum método de cálculo, é possível também calcular o consumo real, como fez Giuliano Dall'O *et al.* (2012). O consumo real pode também ser calculado a partir dos balanços energéticos de um país ou cidade, tal como efetuado por

Magalhães e Leal (2014). Os métodos referidos não constituem todos os existentes, mas sim exemplos de formas de obtenção dos dados de consumo efetivos.

2.7.2 Gap de desempenho energético

Vários autores procuraram estimar as necessidades de um edifício ou zona urbana com o objetivo de proceder à sua comparação com o consumo atual que realmente se verifica. Por vezes, o consumo efetivo dos edifícios apresenta consideráveis diferenças para o consumo calculado teoricamente, mesmo quando se utilizam programas complexos de simulação do desempenho energético (Calì *et al.*, 2016). A esta diferença é denominada de “gap” de desempenho energético (Calì *et al.*, 2016). É relevante destacar que, quando se trata de desempenho energético, grande parte dos estudos considera a energia anual utilizada apenas para aquecimento e arrefecimento de espaços (Wilde, 2014). É necessário, no entanto, o devido cuidado na eventual exclusão ou inclusão de outros usos de energia como iluminação, aquecimento de águas ou aparelhos elétricos, de forma a evitar erros no cálculo (Wilde, 2014). No contexto deste trabalho as expressões “gap”, ou “gap térmico”, “gap de desempenho energético” e “gap energético” são utilizadas para representar o mesmo conceito, que corresponde à diferença entre o consumo efetivo de energia final e as necessidades de energia final de climatização para as condições de referência de conforto térmico.

Colmatar esta diferença ou “gap” revela-se fundamental para que o design e a engenharia dos edifícios possam providenciar as características necessárias para os edifícios cumprirem as metas definidas de alto desempenho, como a referente aos edifícios “*Net Zero Energy*”, que se traduzem na redução e eficiência energética e redução de emissões de carbono (Wilde, 2014). É igualmente importante para tornar possível a construção de edifícios que mantenham um bom desempenho durante todo o seu período de vida e que sejam adaptáveis e resilientes a alterações climáticas e de uso dos seus ocupantes (Wilde, 2014). Esta diferença é responsável por descredibilizar os setores do design e engenharia da indústria dos edifícios e aumentar o ceticismo acerca da utilidade e importância dos edifícios de alta performance energética (Wilde, 2014). Assim, a pressão sobre a indústria dos edifícios para responder às metas ambientais e de política energética e às exigências dos consumidores e público geral, torna esse assunto cada vez mais relevante (Wilde, 2014), e tem funcionado como um catalisador para o aumento de estudos em torno deste problema. Este gap é igualmente relevante para avaliar o nível de conforto térmico das habitações.

É expectável e até inevitável que ocorra alguma variação entre as previsões das necessidades e os valores medidos, devido a erros numéricos e incertezas associadas ao método de estimativa, ou até erros nas medições ou observações do valor real de consumo (Wilde, 2014). Contudo, acontece que esta diferença parece ser, em várias ocasiões, de magnitude demasiado significativa para ser considerada aceitável (Wilde, 2014). De facto, estudos sugerem que o consumo de energia medida chega a ser 2,5 vezes superior ao consumo previsto (Menezes *et al.*, 2012; Wilde, 2014). Todavia, o contrário pode também verificar-se. A obtenção de valores

suficientemente semelhantes tem sido um objetivo de quem se dedica a desenvolver ferramentas e programas de estimativa destas necessidades, desde o seu surgimento na década de 1960 (Clarke 2001; Wilde, 2014).

2.7.2.1. Causas do gap de desempenho energético

Estudos sobre a diferença entre o consumo observado e medido para edifícios novos e reabilitados começaram a ser desenvolvidos na década de 1990 (Haas *et al.* 1998; Cali *et al.*, 2016). Wilde (2014) efetuou uma revisão literária sobre as várias causas relacionadas com este “gap”. As causas desta diferença podem então agrupar-se em três categorias: causas relacionadas com a fase de *design*, com a fase de construção e também com a fase de operação. Os fatores que causam o “gap” do desempenho poderão estar relacionados com mais do que uma destas fases, sendo que estes variam de edifício para edifício. Na fase de *design*, as discrepâncias poderão resultar precisamente do *design* incorreto do edifício. Este poderá estar associado a uma má comunicação sobre as metas de desempenho entre o cliente e a equipa de *design*, ou entre membros da equipa (Newsham *et al.*, 2012; Morant, 2012; Wilde, 2014). Estas equipas não podem, em alguns casos, prever o futuro uso do edifício, o que também poderá ser um fator causador do “gap”, visto que os requisitos operacionais e condições do edifício variam consoante a sua função (Menezes *et al.*, 2012; Morant, 2012; Korjenic e Bednar, 2012; Dasgupta *et al.*, 2012; Newsham *et al.*, 2012; Wilde, 2014). O fraco conceito térmico do edifício, desadequação no tamanho dos sistemas de climatização e mau desempenho dos equipamentos poderão ser igualmente fatores que contribuem para agravar essa diferença (Newsham *et al.*, 2012; Wilde, 2014). A complexidade dos sistemas de poupança de energia e dos seus controlos, bem como a sua dependência de software para a operação, nomeadamente a necessidade de atualizações constantes, constituem igualmente causas possíveis (America *et al.*, 2012; Wilde, 2014).

Outra causa de significativa relevância dentro desta fase é referente à modelação e simulação, componentes chave para a estimativa do consumo. O uso incorreto de ferramentas, programas ou modelos levará à estimativa de previsões erróneas e, conseqüentemente, a um *gap* substancial (Menezes *et al.*, 2012; Morant, 2012). O seu uso correto não é, no entanto, a única condição necessária para obter estimativas fidedignas, é igualmente necessário ter acesso aos dados e valores corretos dos diferentes parâmetros, tal como saber quando, onde e como devem ser introduzidos. Mesmo na situação de certo modelo ser aplicado e utilizado de forma correta, existe sempre incerteza nas estimativas, particularmente relacionadas com dados climáticos, ocupação e ganhos térmicos internos (Menezes *et al.*, 2012; Wilde, 2014), parâmetros sujeitos a variação.

O facto de o *design* raramente ser tido em conta nos métodos de previsão é apontado como outro fator responsável pela diferença. Seriam necessários testes de erro e precisão de cálculos de *design*. Não se considerar a deterioração do desempenho dos sistemas nos edifícios é também uma outra causa a apontar (Reddy *et al.*, 2007; Wilde, 2014).

O segundo grupo de causas está relacionado com o processo construtivo e com a passagem do edifício para o cliente. Vários autores indicam que a qualidade do edifício não está muitas vezes em concordância com os requisitos, particularmente no que respeita ao isolamento e estanqueidade do ar (Menezes *et al.*, 2012; Newsham *et al.*, 2012; Morant, 2012; Wilde, 2014). Por vezes, alguns detalhes não são definidos e cabe ao empreiteiro decidir, criando risco no que respeita à criação de pontes térmicas. Neste contexto, podem ser implementadas soluções de última hora que alteram o desempenho do edifício (Bell *et al.*, 2010; Wilde, 2014). Estas situações são fundamentalmente discrepâncias entre o plano e design do edifício e as características que lhe são atribuídas na construção.

De forma a garantir a qualidade do desempenho energético ao longo do tempo, tem sido implementado um processo que mantém os construtores e designers envolvidos no desempenho do edifício depois de este ser construído e até depois de passado aos clientes (Morant, 2012; Wilde, 2014). Isto implica uma maior responsabilização dos envolvidos no processo de construção e procura assegurar que todos os requisitos são atendidos. Denotam-se problemas ainda no que concerne os testes de avaliação do desempenho das novas construções, após um edifício ser completado (Wilde, 2014).

O último tipo de causas são as operacionais. O comportamento de ocupação é frequentemente distinto daquele que se assume que será na fase de design. É um dos fatores que determina significativamente a energia consumida para aquecimento de espaços (Guerra-Santin and Itard, 2010; Gram-Hansen, 2011; Sunikka-Blank e Galvin, 2012), bem como para o arrefecimento igualmente. É considerado várias vezes como a principal razão para o “gap” de desempenho dos edifícios (Haldi e Robinson, 2008; Menezes *et al.*, 2012; Morant, 2012; Korjenic e Bednar, 2012; Wilde, 2014).

Esforços têm sido efetuados para entender como modelar o comportamento dos ocupantes (Haldi e Robinson, 2008; Chung e Park, 2010; Yu *et al.*, 2011; Ryan e Sanquist, 2012; Wilde, 2014), pois suposições incorretas levam a estimativas erradas de ganhos internos, dos valores totais de consumo e até das cargas nas tomadas (Haldi e Robinson, 2008; Newsham *et al.*, 2012; Wilde, 2014). A operação do edifício também é diferente do assumido, particularmente no que diz respeito à configuração de termostatos, ao controlo das horas de operação e à configuração dos sistemas de gestão de energia dos edifícios (Menezes *et al.*, 2012; Morant, 2012; Dasgupta *et al.*, 2012; Newsham *et al.*, 2012; Wilde, 2014).

Dentro do âmbito desta fase, destacam-se ainda as incertezas relacionadas com os valores observados de consumo. Por exemplo, num edifício existirá uma rede de sensores, cujo funcionamento está sujeito a erros de medição e registo dos dados (National Measurement Network, 2012; Wilde, 2014). Apesar de a medição dos consumos ser sempre acautelada, a continuidade da medição e a análise e controlo ao longo da vida do edifício, relativamente a outros parâmetros, pode ser afetada, o que resultaria num agravamento do “gap” (O’Sullivan *et al.*, 2004; Wilde, 2014).

A cultura da construção dos edifícios pode também constituir um fator de aumento da diferença entre o consumo estimado e o real. Os processos tradicionais são difíceis de alterar e, por vezes, existem problemas a nível da integridade, responsabilidade e até qualidade do trabalho, aliados ao reduzido conhecimento do cliente sobre esta matéria (National Measurement Network, 2012; Wilde, 2014).

Dentro deste tipo de causas, Sunikka-Blank e Galvin (2012) referem que esta discrepância está muito possivelmente relacionada com os distintos hábitos de aquecimento das pessoas. Esta conclusão parte da observação de que se registaram grandes desvios no consumo atual de energia para aquecimento e arrefecimento, em alojamentos em que as necessidades teóricas eram iguais. No estudo de revisão sobre a performance energética dos alojamentos alemães que realiza, Sunikka-Blank & Ray Galvin indica que existe a tendência dos alemães para manter os seus alojamentos mais frios, para aquecer menos divisões da sua casa ou aquecer o espaço por um período de tempo mais reduzido, ou mesmo uma combinação destas situações, comparativamente ao que é assumido nos métodos de estimativa do consumo teórico (Gram-Hansen, 2010; Sunikka-Blank e Galvin, 2012). A impossibilidade de os métodos utilizados para a estimativa dos consumos teóricos considerarem os padrões de aquecimento é uma realidade muito frequente (Sunikka-Blank e Galvin, 2012). Verificou-se também um padrão de diminuição do consumo em alojamentos de baixa eficiência (Sunikka-Blank e Galvin, 2012).

O consumo teórico e o consumo real ou medido podem ser determinados de diversas formas, com dados de diferente tipo e provenientes de diversas fontes. Por essa razão, a forma como são calculados estes consumos influi diretamente na qualidade do *gap*. Assim, será legítimo proceder a uma qualificação dos *gaps* em diferentes tipos. Wilde (2014) identificou no seu estudo três tipos distintos de *gap* de desempenho energético de edifícios: *gap* entre modelos energéticos e medições efetuadas nos edifícios em estudo; entre abordagens “*machine learning*” e medições nos edifícios em estudo; e ainda entre os métodos normativos definidos nas regulações de desempenho energético de edifícios e a classificação realizada nos certificados energéticos dos edifícios. Cada tipo de *gap* e, conseqüentemente, cada forma de cálculo de consumos, apresenta as suas vantagens e desvantagens, adequando-se melhor ou pior consoante os objetivos e contexto do estudo que se pretende efetuar. Com isto, é válido afirmar que os tipos de *gap* não se limitam aos três apresentados, a tipologia é tão extensa quanto o número de métodos distintos de cálculo e medição de consumos. No caso do presente estudo, é analisado o *gap* entre o método normativo estabelecido no regulamento REH e uma estimativa dos consumos de climatização obtida a partir das estatísticas energéticas municipais de aquecimento e arrefecimento.

2.7.2.2. Casos de aplicação

No seu estudo, Giuliano Dall’O *et al.* (2012) comparou o consumo calculado através da metodologia do certificado energético de edifícios da região da Lombardia com as necessidades de energia para aquecimento, utilizando dados reais de consumo de um edifício residencial, situado em Milão. Foram disponibilizados, pelo gestor do edifício, os dados de consumo

previamente definidos no certificado energético, relativos ao aquecimento de espaço e de águas, em todos os apartamentos do referido edifício. Para estimar as necessidades, com fim à comparação, foram medidas as temperaturas em três dos apartamentos, distribuídos pelo edifício. Foi feita uma leitura do contador da energia térmica no início e final das medições da temperatura interior. Foram também retirados os valores da temperatura exterior da estação de monitorização mais próxima. Assim, com estes dados, foram calculados os graus-dias de aquecimento, através da fórmula genérica. Os valores calculados de aquecimento foram divididos pela área e de seguida multiplicados pelo quociente entre os graus-dia calculados para os apartamentos e os graus-dia padrão da localização ou região. A partir destas necessidades foi calculado o consumo de energia primária, a partir das eficiências dos vários subsistemas de distribuição e geração aferidas dos dados providenciados pelo gestor do edifício, visto que os valores registados do certificado eram de energia primária. Foi feita uma comparação entre valores absolutos, ou seja, foi estudado o *gap* entre os valores absolutos. Este estudo demonstrou que os valores do certificado são consistentes com os valores estimados, assumindo que a temperatura interna se mantém nos 20°C durante a estação de aquecimento. Entre apartamentos idênticos, as necessidades de consumo são diferentes devido a diferentes comportamentos dos utilizadores. As necessidades são frequentemente maiores que as indicadas no certificado energético. Neste caso, dos três apartamentos, apenas em um o consumo indicado foi superior.

No mesmo âmbito, Magalhães e Leal (2014) avaliaram o potencial das bases de dados dos certificados energéticos, estabelecidos nos Estados-membro da União Europeia, para caracterizar o desempenho energético dos edifícios, através da determinação do “*gap*” entre as necessidades nominais e o consumo atual, registado nos balanços energéticos nacionais. Portugal continental foi a região utilizada como caso de estudo. Os autores comparam uma estimativa das necessidades nominais de aquecimento de espaço e água, arrefecimento e energia fóssil primária do stock de edifício a partir dos certificados energéticos de edifícios individuais, que constitui uma abordagem *bottom-up*, com uma estimativa do consumo baseada nos balanços energéticos nacionais.

O primeiro passo foi organizar os dados do stock de edifícios em diferentes tipologias, definidas pelo ano de construção e número de quartos. A área total de cada tipologia referente aos diferentes anos de construção foi então multiplicada pelas necessidades nominais de aquecimento, arrefecimento médias, provenientes dos certificados, e referentes aos respetivos períodos de construção. Assim, foram estimados os valores de várias necessidades úteis para Portugal continental. A metodologia de cálculo utilizada nos certificados segue os moldes da metodologia estabelecida pela norma EN 13790, muito semelhante à metodologia do regulamento do desempenho energético dos edifícios (RCCTE), de 2006, resultado da diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios, de 2002.

Relativamente à estimativa do consumo, foram utilizados dados do balanço energético e do inquérito nacional ao consumo energético, ambos de 2010. Do balanço energético foi retirado o consumo energético total do setor residencial. Do inquérito, foi possível retirar os valores relativos

ao consumo dos usos de energia final no setor residencial. Com estes dados, procedeu-se ao cálculo das necessidades. Para se poder comparar as duas estimativas, os valores das necessidades em energia final foram convertidos para energia útil, assumindo eficiências de 100% para aquecimento com eletricidade, 87% com gás natural, 89% com GPL e gasóleo e 40% para biomassa. O *gap* foi calculado através da equação 6:

$$NHN(\%) = \frac{NHN - AEUH}{NHN} * 100 \quad (\text{equação 6})$$

Em que *NHN* representa as necessidades nominais estimadas a partir da informação dos certificados; *AEUH* corresponde ao consumo atual, retirado do balanço energético nacional. O resultado constitui a diferença percentual entre as duas estimativas. O *gap* calculado para o aquecimento de espaços foi de 95%. Para o arrefecimento, os autores não calcularam esse parâmetro por considerar estar provado que temperaturas acima de 25°C podem ser compatíveis com conforto térmico, de acordo com conforto adaptativo (Nicol e Humphreys, 2002; Magalhães e Leal, 2014).

Este trabalho desta dissertação foi desenvolvido através uma metodologia com uma abordagem mista. Tal como no trabalho de Magalhães e Leal (2014), Jylhäa *et al.* (2015) e Braulio-Gonzalo *et al.* (2016) foi desenvolvida uma metodologia *bottom-up*, no que respeita a determinação das necessidades de aquecimento e arrefecimento das diferentes unidades territoriais do país. Neste caso, estas necessidades foram estimadas a partir das necessidades de tipologias de edifícios individuais definidas, por sua vez calculadas através de um método de modelação estacionária e do método dos graus-dia. Foi igualmente desenvolvida uma abordagem metodológica *top-down*, para estimar o consumo efetivo para as diferentes divisões administrativas do país.

3. Metodologia

Tendo em vista o objetivo do presente estudo de avaliar o estado do conforto térmico nas habitações portuguesas, através da determinação do *gap* entre o consumo efetivo e as necessidades de climatização, foi desenvolvida uma metodologia que pode ser dividida em três fases distintas. Na primeira fase, o principal objetivo foi obter o número de alojamentos por data de construção e número de pisos, para todas as freguesias da nova organização administrativa do território português. Esta fase envolveu trabalho de tratamento de dados em folhas de cálculo.

Na segunda fase apuraram-se as tipologias de edifícios residenciais, com base em literatura, e posteriormente associaram-se os dados dos alojamentos às respetivas tipologias. Nesta fase, uma folha de cálculo denominada *BldAdaPT toolkit*, previamente desenvolvida no âmbito do projeto ClimAdaPT.local (Simões *et al.*, 2015) para calcular as necessidades energéticas de edifícios de acordo com o RCCTE, foi atualizada para o REH, e também para a nova divisão administrativa do país. Através da metodologia estabelecida por este regulamento, foram calculadas as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento das diferentes tipologias criadas. De seguida, com recurso aos dados dos alojamentos, valores das taxas de posse de equipamentos de aquecimento e arrefecimento e respetivas eficiências, procedeu-se à determinação das estimativas das necessidades energéticas finais de aquecimento e arrefecimento, para todas as freguesias do país. Foi igualmente estimado o consumo efetivo de aquecimento e arrefecimento para as diferentes divisões administrativas, através de dados de consumo doméstico dos diferentes combustíveis. Tendo estes dois conjuntos de dados, procedeu-se finalmente ao cálculo da diferença ou *gap* entre as necessidades para o conforto térmico e o consumo efetivo que ocorre, para todas as freguesias do país. Este *gap* energético poderá representar o consumo de energia que falta suprir para se atingir as temperaturas de referência associadas ao conforto térmico, tal como definido no REH, no caso de as necessidades serem superiores ao consumo efetivo, ou, então, a quantidade que se consome em excesso, caso o consumo seja superior às necessidades estimadas. Nesta fase, foi testado o impacto da redução da área climatizada e da duração diária da climatização nas necessidades e no *gap* energético de aquecimento e arrefecimento. Com o propósito de representar e refletir os hábitos de climatização dos portugueses de forma mais realista, foram propostos dois cenários de redução destes dois parâmetros, nos quais a percentagem de redução varia de acordo com a zona climática em que as freguesias se inserem. Foi calculado e analisado o *gap* energético para estes dois cenários. A determinação dos *gaps* constitui efetivamente o objetivo principal desta segunda fase da metodologia.

A terceira fase consistiu no mapeamento das necessidades e consumos efetivos para aquecimento e arrefecimento, e dos *gaps* para o conforto térmico, a nível da freguesia, em Portugal continental e ilhas, utilizando para esse fim o *software* QGIS. Foi igualmente efetuada uma análise gráfica dos *gaps* de aquecimento e arrefecimento. O esquema metodológico do trabalho desenvolvido pode ser observado na Figura 3

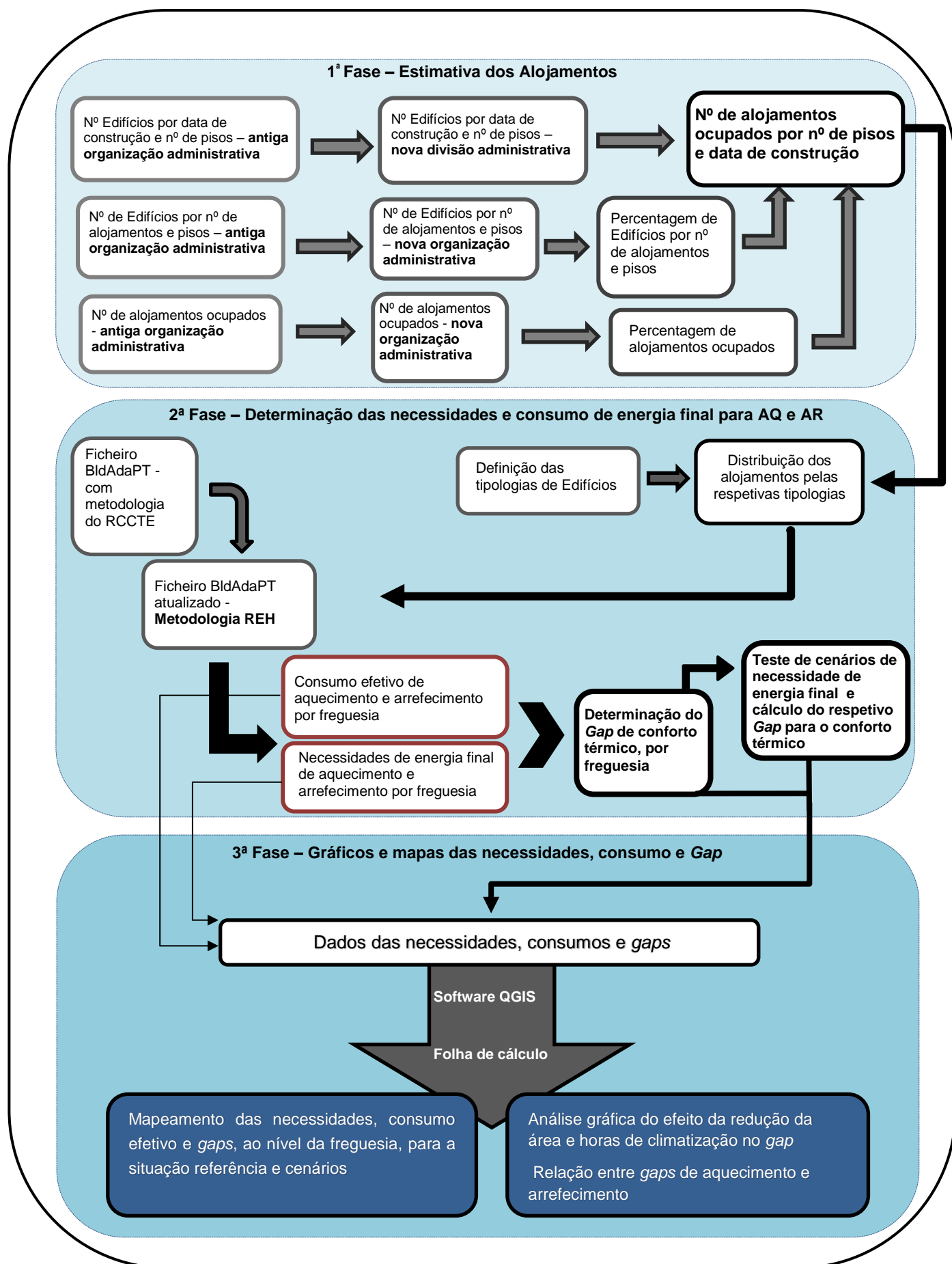


Figura 3.1 – Esquema metodológico

3.1. Caso de estudo

A metodologia desenvolvida foi aplicada para Portugal, com ambos os territórios do continente e das ilhas a constituírem as regiões consideradas para este estudo. Portugal localiza-se no sul da Europa, sendo o país mais ocidental deste continente. É limitado a sul e oeste pelo Oceano Atlântico, fazendo fronteira com Espanha a norte e este. O país tem uma população de 10.5 milhões de habitantes, segundo o último censo realizado, e uma área total de 92 090 km² (CAOP, 2013) Portugal Continental representa 96.6% (89 102 km²) da área total do país (CAOP, 2013) e a aproximadamente 95% da população do país (DGT, 2016). A restante percentagem corresponde, por sua vez, aos arquipélagos da Madeira e dos Açores. As ilhas dos Açores têm uma área combinada de sensivelmente 2320 km² (2.5%) e uma população de 246 746 habitantes, ao passo que a Madeira representa 0.9% da área total do país e cerca de 2.5% da população (267 785 habitantes) (INE, 2011).

No que ao clima diz respeito, a temperatura média anual no território continental varia entre 7°C, nas serras do Nordeste, e 18°C no litoral sul do país. As regiões do Minho e Douro registam os mais elevados níveis de precipitação, enquanto no Baixo Alentejo se verificam os valores mais reduzidos (IPMA, 2017a). Na Figura 3.2 é possível observar os mapas da temperatura média anual e da precipitação acumulada anual em Portugal continental, respetivamente.

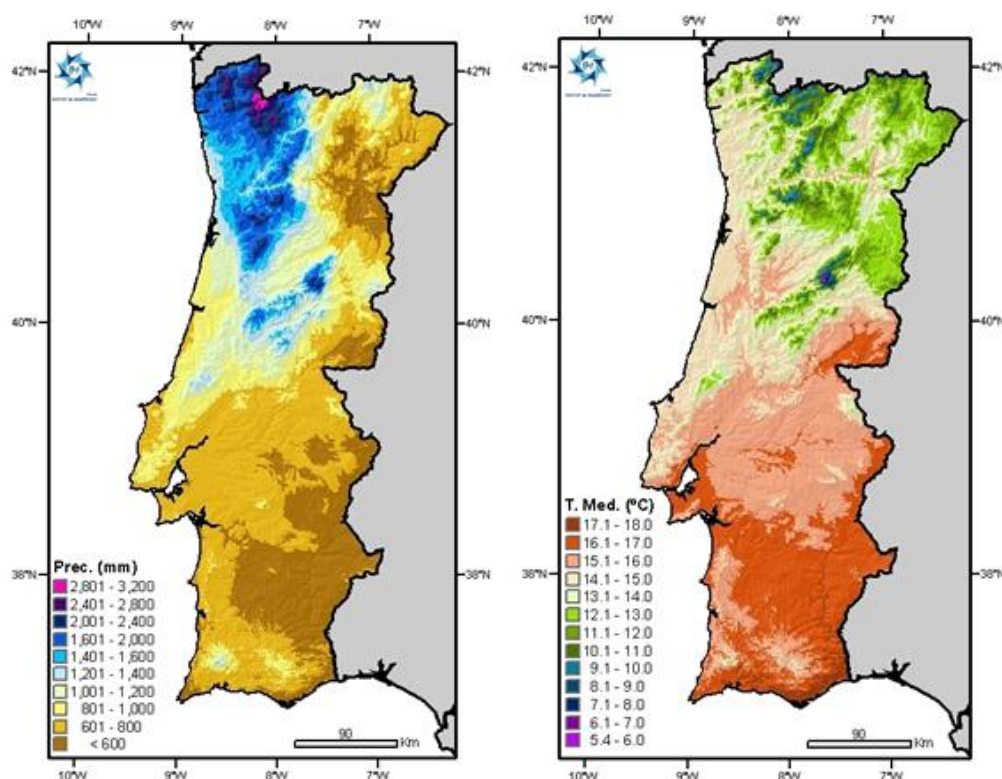


Figura 3.2 – Precipitação acumulada anual (esquerda) e Temperatura média anual (direita) em Portugal continental (IPMA, 2017a)

No arquipélago da Madeira, os valores de temperatura média anual situam-se entre 15°C e 20°C. As temperaturas mais elevadas ocorrem na costa sul da ilha principal, ilha da Madeira, e igualmente na ilha de Porto Santo. A costa norte, as zonas interiores e de maior altitude registam as temperaturas mais reduzidas. Quanto à precipitação média anual, que varia entre 300 mm e 3000 mm, os níveis mais elevados ocorrem na costa norte da ilha da Madeira, ao passo que a costa sul apresenta os valores mais reduzidos. Verifica-se que os níveis de precipitação aumentam em área de maior altitude. Em relação aos Açores, a temperatura média anual registada para todo o arquipélago é de cerca de 13.8°C. Os níveis médios anuais de precipitação, por sua vez, atingem os 987 mm.

De forma a caracterizar-se o clima de uma certa região, é frequente recorrer-se a sistemas de classificação climática. Desenvolvido há praticamente 100 anos, o sistema climático Köppen é um dos mais conceituados e utilizados a nível mundial para este fim. Um considerável número de estudos e publicações baseia-se ou utiliza, de alguma forma, este sistema de classificação, ou também a sua mais versão recente, a classificação Köppen-Geiger (Kottek *et al.*, 2006). Esta classificação baseia-se na influência da temperatura e precipitação na vegetação e na atividade humana, utilizando os valores médios anuais de temperatura e precipitação para definir diferentes tipos de clima (AEMet/IM, s/d).

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) indica que o clima deve ser caracterizado através da utilização dos valores médios de diferentes parâmetros meteorológicos, de um período de 30 anos (WMM), designados de normais climatológicas (IPMA, 2017b). Para Portugal, utilizando as normais climatológicas de 21 estações meteorológicas, para um período de 1971 até 2000 (a mais recente data disponível), bem como sistema de classificação climática *Köppen-Geiger*, 2 tipos de clima distintos foram identificados para o território continental do país – o tipo C e o tipo B. O tipo C constitui o tipo de clima mais comum, com maior distribuição territorial, ocorrendo praticamente em todo o território de Portugal continental. Dentro do tipo C, dois subtipos diferentes caracterizam o continente:

- o Csa, um clima temperado com verões quentes e secos, que se verifica no Vale do Douro e a sul de das serras de Montejunto – Estrela, exceto na costa ocidental do Alentejo e Algarve;
- O Csb, um clima temperado com verões moderados e secos, que ocorre praticamente todas as regiões a norte das serras de Montejunto – Estrela e na costa ocidental do Alentejo e Algarve.

O tipo climático B tem uma distribuição territorial mais limitada, com apenas um subtipo representado, o Bsk, um clima de estepe, frio e semiárido, com verões quentes e secos e invernos frios e com reduzida precipitação. Este tipo de clima verifica-se na região sul do Alentejo. Todos os tipos e subtipos que caracterizam o território continental português podem ser observados na Figura 3.3.

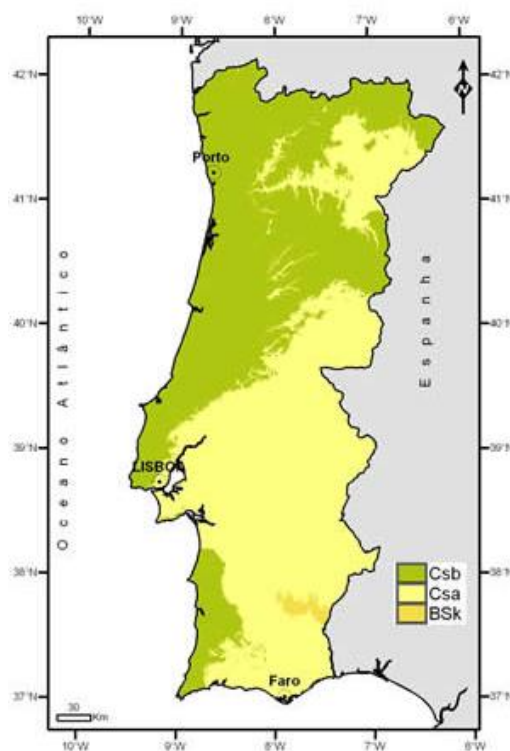


Figura 3.3 - Tipos de clima em Portugal continental (IPMA, 2017b)

Nas ilhas da Madeira verifica-se o subtipo climático *Csa*, tal como em várias regiões continentais. Nos Açores, por outro lado, é possível encontrar dois subtipos de clima diferentes. O grupo de ilhas oriental (ilhas de São Miguel e Santa Maria) é caracterizado pelo subtipo climático *Csb*. No grupo central (as ilhas Terceira, Graciosa, São Jorge, Pico e Faial) e no grupo ocidental (Corvo e Flores) ocorre o subtipo *Cfb*, que corresponde a um clima oceânico, temperado e húmido, com verões frios, devido às correntes oceânicas, e invernos moderados, subtipo comumente associado a regiões a considerável distancia de grandes regiões continentais.

No contexto do trabalho desenvolvido, é relevante efetuar a caracterização dos tipos de clima existentes no país, na medida em que as necessidades de energia para climatização são determinadas tendo em conta as condições climáticas, como a temperaturas exteriores. Por outras palavras, o consumo de energia para aquecimento e arrefecimento de determinada freguesia ou município está intimamente relacionado com o clima.

3.2. Divisão Territorial

Em Portugal, existem dois tipos de divisões territoriais – a divisão administrativa e a divisão estatística. A divisão administrativa é a mais antiga divisão do território português, sendo a primeira a ser implementada por lei no país. Previamente à aprovação da constituição de 1976, três unidades territoriais administrativas encontravam-se estabelecidas por lei – os Distritos, os Municípios (também referidos como Concelhos) e as Freguesias (WHE, s/d).

A Constituição da República Portuguesa prevê a divisão do território em três diferentes circunscrições, os municípios e freguesias, já previamente estabelecidos, e ainda uma nova unidade designada de Regiões Administrativas (artigo 236º) (INE, s/d). No entanto, até aos dias de hoje, esta circunscrição não foi ainda implementada, tendo a sua criação e potencial utilidade e funcionalidade sido objeto de considerável discussão e debate durante as últimas décadas. Assim, tal como descrito no artigo 291º da Constituição, enquanto estas unidades não forem constituídas, os Distritos continuarão a ser considerados como divisões administrativas (INE, s/d). É relevante mencionar que os municípios e freguesias são autarquias, ou seja, são dotados de personalidade jurídica e restrita autonomia política, sendo representados por órgãos deliberativos e executivos (INE, s/d).

Em virtude das particulares características geográficas, económicas, sociais e culturais, a Constituição atribui à Madeira e aos Açores, o estatuto de Regiões Autónomas, concedendo-lhes autonomia política. Estas regiões possuem assim os seus próprios governos regionais, bem como leis administrativas e orgânicas (WHE, s/d). Esta autonomia é, porém, limitada, nunca colocando em causa a soberania do país, sendo que as suas ações políticas e legislativas são supervisionadas e monitorizadas por um representante da República que assegura o respeito pelo estado unitário do país. Estas regiões encontram-se igualmente divididas em municípios e freguesias.

Os Distritos e as Regiões autónomas representam, assim, o 1º nível de divisão administrativa, os Municípios, subdivisões dos Distritos, são as unidades de 2º nível, e as Freguesias, por sua vez subdivisões dos Municípios, correspondem a circunscrições de 3º nível. De forma a utilizar estas divisões territoriais para fins estatísticos, foi necessário atribuir um código numérico aos diferentes níveis, designado de Código da Divisão Administrativa (INE, s/d). Às divisões de 1º nível, foi atribuído um código composto por dois dígitos. Para os municípios foi estabelecido um código de quatro dígitos, no qual os dois primeiros correspondem ao código do distrito ou da Região Autónoma, divisão de 1º nível, a que o município pertence. Às freguesias foi atribuído um código constituído por seis dígitos, em que os primeiros dois correspondem o código da divisão administrativa de 1º nível onde se insere e o segundo conjunto de dois dígitos é idêntico ao código do município a que pertencem (INE, s/d).

Até 2012, encontrava-se estabelecido um total de dezoito distritos, duas regiões autónomas, trezentos e oito municípios e 4259 freguesias (WHE, s/d). Contudo, em 2013, com o propósito de promover o desenvolvimento local e a coesão social, aumentar o poder local das autarquias e a sua capacidade de intervenção na comunidade, melhoria dos serviços públicos, e ainda o aumento da eficiência e redução dos gastos públicos (Decreto Lei nº22/2012), procedeu-se a uma reorganização administrativa, aprovada pelo Decreto Lei nº22/2012. Esta reforma resultou na agregação de muitas das freguesias já existentes, criando deste modo novas freguesias, com diferentes designações, e em casos pontuais, na alteração da delimitação territorial de várias freguesias e também de certos concelhos. Este processo levou a uma redução do número total de freguesias de 4259 para 3092. Um dos objetivos deste trabalho é precisamente calcular a

diferença entre as necessidades de energia e o consumo efetivo de aquecimento e arrefecimento, necessária para atingir o conforto térmico, para todas as freguesias e concelhos da nova organização administrativa. Desta forma, este estudo poderá ser útil para as autarquias, caso pretendam avaliar os gastos energéticos referentes a estes serviços e eventualmente desenvolver políticas ou implementar medidas com fim à poupança energética e aumento da eficiência.

Para além da divisão administrativa, destaca-se igualmente outro tipo de divisão territorial, a divisão estatística, que divide o território em regiões chamadas NUTS (Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos). Estas regiões, definidas a nível europeu, foram desenvolvidas especificamente para fins estatísticos, particularmente com o propósito de harmonizar as estatísticas europeias e permitir a comparação de dados estatísticos entre Estados da União Europeia (INE, s/d). Adicionalmente, as regiões NUTS assumem ainda um papel relevante nos mecanismos de atribuição dos Fundos Europeus Estruturais e de Investimento, na medida em que estes fundos são distribuídos de acordo com esta divisão estatística (WHE, s/d). Existem três divisões distintas – as regiões NUTS I, NUTS II e as NUTS III (PORDATA, 2013). Foram estabelecidas 3 regiões NUTS I, sete regiões NUTS II e 25 regiões NUTS III. Na Figura 3.4 é possível observar todas as regiões NUTS, por nível. As regiões NUTS foram utilizadas neste trabalho de forma a organizar os dados em regiões de maior dimensão que os distritos.

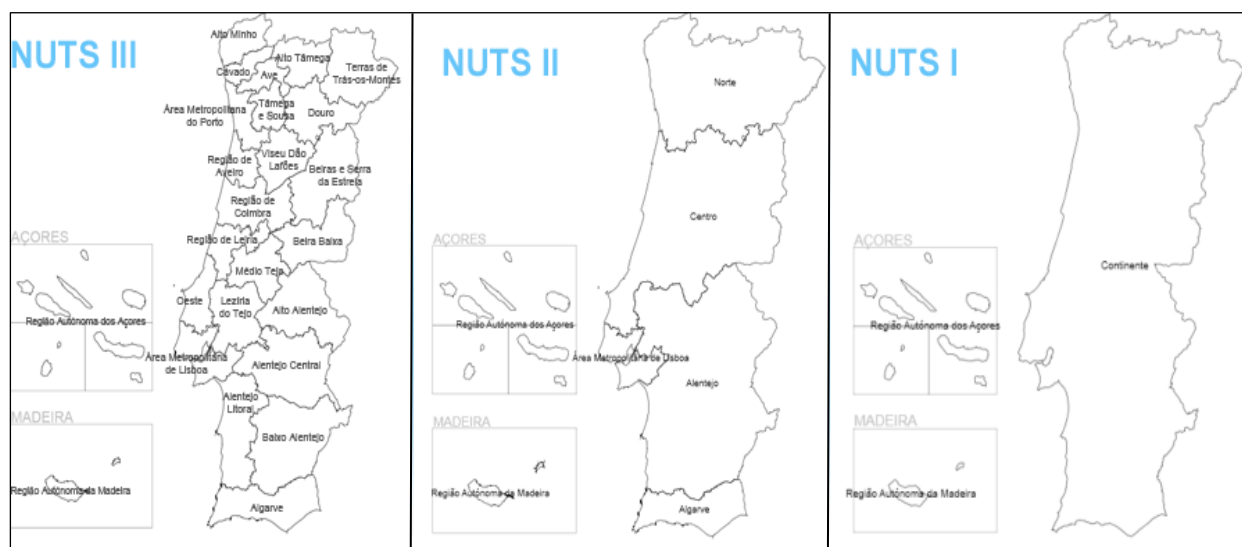


Figura 3.4 - Regiões NUTS (PORDATA, 2013)

3.3. Comparação entre o RCCTE e REH

Aprovada pelo Parlamento e Conselho Europeu em 2002, a Diretiva n.º 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edifícios, vigorava no quadro legislativo europeu, tendo sido transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º 78/2006, do Decreto-Lei n.º 79/2006 e do Decreto-Lei n.º 80/2006, que resultaram na aprovação do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE), o Regulamento dos Sistemas

Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Esta diretiva e os instrumentos regulatórios nacionais que dela resultaram destinavam-se a promover a eficiência energética dos edifícios, redução do consumo energético e a emissão de gases de efeito estufa. Foi estabelecida uma metodologia para avaliar o desempenho energético e assim cumprir as metas por si igualmente definidas (Coutinho, 2014). Estes sistemas e regulamentos contribuíram para um maior foco na eficiência energética e utilização de energia de fontes renováveis, assim como para uma relação mais próximas dos cidadãos e agentes de mercado com as políticas energéticas (REH).

A Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, veio reformular o regime estabelecido pela Diretiva n.º 2002/91/CE. Com esta nova diretiva, foram clarificados certos princípios e introduzidas novas disposições, com o objetivo de reforçar o quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios (REH). Procedeu-se a um aumento da exigência dos parâmetros e requisitos definidos na anterior diretiva (Coutinho, 2014). Estas alterações visam o cumprimento das metas e desafios para 2020, acordados pelos Estados-Membros da União Europeia.

Em Portugal, foi efetuada uma revisão da legislação nacional, que englobou a transposição desta diretiva. Os quadros que estabelecem o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) foram incluídos num único diploma, o Decreto-Lei n.º 118/2013, de forma a melhorar a sistematização e definição do âmbito de aplicação destes instrumentos. As alterações provocadas pela diretiva resultaram na atualização dos regulamentos e do sistema de certificação. Ocorreu igualmente uma reorganização no âmbito dos regulamentos, sendo que agora se distinguem pelo tipo de edifício a que se destinam. O REH constitui uma junção dos regulamentos anteriores RCCTE e RSECE, visto que aborda o comportamento térmico dos edifícios e os sistemas de climatização, mas apenas para os edifícios de habitação. O RECS trata a mesma matéria, mas destina-se a edifícios de comércio e serviços. Tendo em conta que esta diretiva teve o efeito de alterar os regulamentos nacionais, é necessário compreender quais foram as alterações ocorridas. No âmbito deste trabalho, é particularmente relevante estudar as diferenças introduzidas que influenciam a determinação das necessidades de aquecimento e arrefecimento do setor residencial.

O processo de avaliação do desempenho energético de edifícios inicia-se com a zona climática onde se encontram. Em ambos os regulamentos são definidas três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3). As zonas de índice 1 têm um clima mais ameno, enquanto as zonas de índice 3 têm um clima mais severo (Coutinho, 2014).

As zonas de inverno são definidas de acordo com os graus-dia dos municípios do país. É precisamente neste parâmetro que se verifica a primeira diferença significativa, visto que ocorreu uma alteração das zonas climáticas de inverno no novo regulamento. A razão prende-se com a

alteração da temperatura base interior utilizada, que correspondia a 20°C e passou a ser 18°C. A alteração nos mapas das zonas climáticas pode ser observada na Figura 3.5. No REH, fica definido que se uma localidade tem um valor igual ou superior a 1300 graus-dia por ano, essa localidade pertence à zona I1. Se o valor se situar entre 1300 e 1800, pertence à zona I2, e se tiver um valor superior a 1800, esta passa a localizar-se na zona climática I3. A estação de aquecimento é o período do ano com início nos primeiros dez dias depois de 1 de outubro, em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15°C, e com fim nos últimos dez dias anteriores a 1 de maio, em que a temperatura referida ainda é inferior a 15°C.

Este zonamento depende igualmente da altitude, parâmetro que sofreu algumas alterações. Em Portugal Continental, no RCCTE, um local com valores de graus-dia de zona I1 e com altitude entre 400 e 600 metros, passava a estar na zona I2. Essa condição já não se verifica no REH. Também ocorreu uma alteração nas correções das zonas climáticas com base na altitude, para a Madeira e Açores. No RCCTE, para a Madeira, uma zona a altura inferior a 600 metros situava-se na zona climática I1, entre 600 e 1000 pertencia à I3 e com uma altura superior a 1000 metros estaria na zona I3. Nos Açores, acima de 800 metros correspondia a I1, entre 800 e 1100 metros pertencia a I2 e acima dos 1100 correspondia à zona climática I3. No REH foi criado apenas um quadro para as duas Regiões Autónomas, igual ao da Madeira no RCCTE.

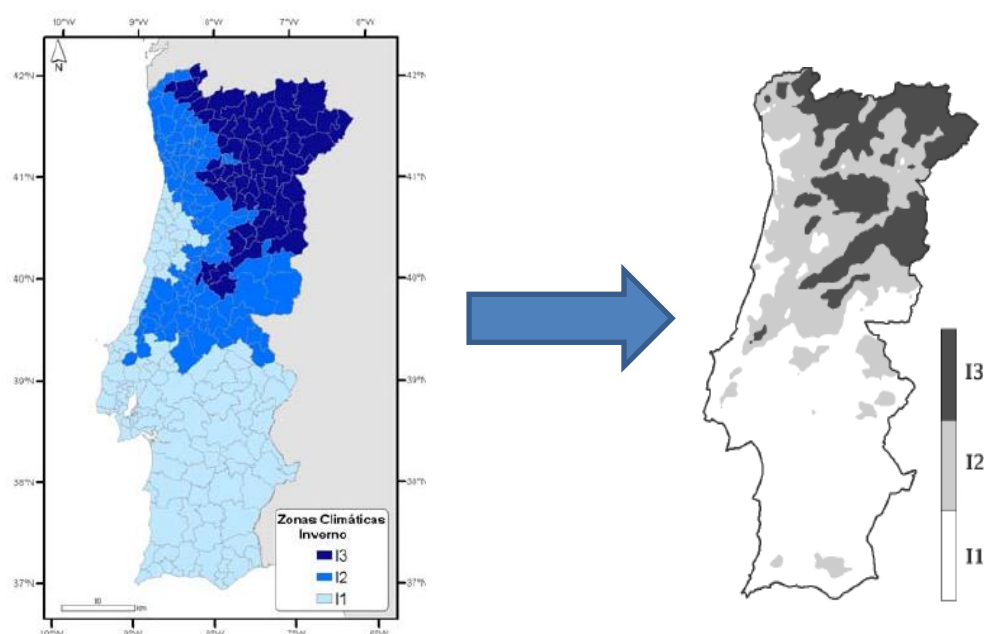


Figura 3.5 – Alteração das zonas climáticas de inverno (IteCons, 2013 e Camelo et al., 2006)

O zonamento de verão é definido a partir da temperatura média exterior correspondente à estação de arrefecimento (verão). No REH, uma temperatura exterior média inferior ou igual a 20°C corresponde à zona climática V1, entre 20 e 22°C (inclusive) corresponde à zona V2 e para uma temperatura superior a 22°C, determinada localidade situar-se-á na zona V3. A temperatura base interior manteve-se nos 25°C no REH. A duração da estação de arrefecimento é 4 meses para todas as localidades. Quer no REH, quer no RCCTE, para o continente, uma localidade

situada entre 600 e 800 metros passa a pertencer à zona climática V2 e se porventura a altitude for superior a 800 metros, pertence à zona climática V1. Para as Regiões Autónomas, foi estabelecido para o REH que uma localidade na zona V1 que se situe a uma altitude entre 600 e 800, passa a pertencer a zona V2. No RCCTE, ambas as regiões autónomas pertenciam à zona V1. A alteração do zonamento de verão pode ser observada na Figura 3.6. No RCCTE, os dados climáticos encontram-se organizados por município, enquanto no REH estão alocados por região NUTS III.

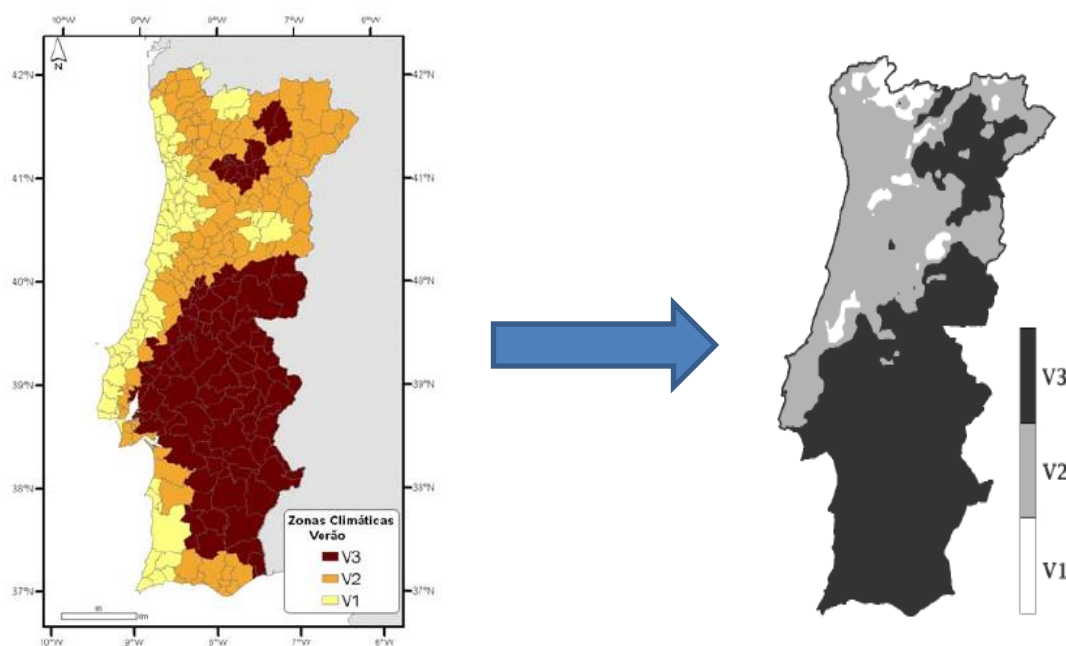


Figura 3.6 - Alteração das zonas climáticas de verão inverno (IteCons, 2013 e Camelo et al., 2006)

3.3.1 Comparação das metodologias de determinação das necessidades de climatização

A metodologia de cálculos das necessidades de energia útil de aquecimento e arrefecimento do REH manteve-se, em grande parte, idêntica comparativamente à metodologia do RCCTE, apesar da organização e nomenclatura dos termos ser distinta. Apresentam-se, de seguida, as diferenças encontradas nas metodologias dos dois regulamentos.

3.3.1.1 Alterações na metodologia da estimativa das necessidades de energia útil para aquecimento de espaço

Relativamente às necessidades de energia útil de aquecimento, a primeira diferença nas equações de cálculo diz respeito à transferência de calor através de elementos em contacto com o solo. Na Tabela 3.1 estão ilustradas as duas fórmulas de cálculo desse parâmetro, de acordo com o regulamento.

Tabela 3.1 – Diferença na expressão de cálculo da transferência de calor através de elementos em contacto com o solo (adaptado de Coutinho, 2014)

RCCTE	REH
$Q_{pe} = 0.024 \times L_{pe} \times GD$	$H_{ecs} = \sum_i [U_{bfi} \times A_i] + \sum_j [z_j \times P_j \times U_{bwj}]$
$L_{pe} = \sum_j \psi_j \times B_j$	

Em que L_{pe} são as perdas unitárias de calor de elementos em contacto com o solo; U_{bfi} representa o coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado; U_{bwj} é o coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo; A_i é a área do pavimento em contacto com o solo; P_j , B_j correspondem ao desenvolvimento total da parede em contacto com o solo; Z_j é a profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo e ψ_j é o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear.

Segundo o RCCTE, as transferências de calor através de elementos em contato com o solo são calculadas utilizando o coeficiente de transmissão térmica linear e o desenvolvimento da parede, enquanto no REH o cálculo deve ser efetuado com o coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado e da parede em contacto com o solo, a área desse pavimento, a profundidade média da parede que está em contato com o solo, o seu desenvolvimento e o respetivo coeficiente de transmissão térmica. No que respeita à transferência de calor através da ventilação, a fórmula de cálculo é idêntica, como pode ser observado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Forma de cálculo da transferência de calor por ventilação (adaptado de Coutinho, 2014)

RCCTE	REH
$Q_v = 0,024 \times (0,34 \times R_{ph} \times A_p \times P_d) \times GD$	$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times H_{ve,i}$
	$H_{ve,i} = 0,34 \times R_{ph,i} \times A_p \times P_d$

Onde R_{ph} corresponde à taxa nominal horária de renovações do ar interior; $R_{ph,i}$ é a taxa nominal horária de renovações do ar interior na estação de aquecimento; A_p representa a área interior útil de pavimento; P_d é o pé direito médio da fração e $H_{ve,i}$ corresponde ao coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento.

No entanto, no RCCTE, o parâmetro R_{ph} assume um valor mínimo único (0,6), para ambas as estações, ou seja, tem de ser garantida a renovação de, pelo menos, 60% do ar interior de uma habitação por hora. No REH, na estação de aquecimento, o valor mínimo de renovação do ar

situa-se nos 40%, o que poderá permitir uma melhor manutenção da temperatura interior (Coutinho, 2014). Nos ganhos térmicos úteis verifica-se uma diferença no cálculo dos ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Diferença no cálculo dos ganhos térmicos solares (adaptado de Coutinho, 2014)

RCCTE	REH
$Q_s = G_{sul} \times \sum_i \left(X_j \times \sum As_{nj} \right) \times M$	$Q_s = G_{sul} \times \sum_i \left(X_j \times \sum_n F_{s, inj} \times As_{nj} \right) \times M$
$As = A \times F_s \times F_g \times F_w \times g_{\perp}$	$As, i = A_w \times F_g \times g_i$

Onde G_{sul} é o valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul; As_{nj} , As, inj corresponde à área efetiva coletora de radiação solar do envidraçado; F_s , $F_{s, inj}$ é o fator de obstrução do vão envidraçado; F_g é a fração envidraçada do vão envidraçado e g_{\perp} , g_i corresponde ao fator solar de inverno; M é a duração média da estação convencional de aquecimento; X_j é o Fator de orientação para as diferentes exposições; A , A_w corresponde à área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho e F_w representa o fator de correção devido à variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência.

No REH não é considerado o fator de correção F_w , pois este fator apenas está presente quando não se considera existirem dispositivos de proteção solar anexos ao envidraçado. Outra diferença na determinação destes ganhos solares reside na diferente forma como é calculado o fator solar (Tabela 3.4 e Tabela 3.5).

Tabela 3.4 – Cálculo do fator solar no RCCTE (adaptado de Coutinho, 2014)

RCCTE		
Consideração	Vidro simples	Vidros duplos
Cortina interior transparente de cor clara	$g_{\perp} = 0,70$	$g_{\perp} = 0,63$

O RCCTE estipulava a presença de uma cortina interior transparente de cor clara, enquanto o REH considera que existe dispositivo de proteção solar totalmente aberto, de forma a ocorrer um maior aproveitamento dos ganhos solares pelos envidraçados. Ao assumir que existia uma cortina interior transparente, o fator solar total do conjunto é agravado, isto é, assume valores inferiores que proporcionam ganhos solares mais reduzidos. No REH, ao considerar-se o

dispositivo solar aberto, na estação de aquecimento, a energia solar não é refletida ou dissipada, possibilitando a maximização dos ganhos solares.

Tabela 3.5 - Forma de cálculo do fator solar no REH (adaptado de Coutinho, 2014)

REH		
Com dispositivo	Sem dispositivo	Consideração
$g_i = g_{Tp}$	$g_i = F_{w,i} \times g_{\perp,vi}$	Dispositivos de proteção solar totalmente abertos

3.3.1.2 Alterações na metodologia da estimativa das necessidades de energia útil para arrefecimento de espaço

A primeira alteração verificada no cálculo das necessidades úteis de arrefecimento diz respeito aos ganhos térmico solares. No RCCTE, o fator de correção F_w é sempre utilizado para o cálculo da área dos vãos envidraçados, posteriormente utilizada na fórmula de determinação dos ganhos solares. No caso do REH, particularmente para vãos envidraçados de espaços não úteis, este fator apenas é tido em consideração no cálculo da área se existirem dispositivos de proteção fixos. No REH, é estabelecida uma metodologia para determinar os ganhos térmicos dos vãos envidraçados interiores. Este é um processo metodológico novo, pois o RCCTE não prevê nenhuma metodologia para o cálculo destes ganhos em particular. Outra diferença reside na forma como é calculado o fator solar. As duas metodologias encontram-se ilustradas na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Comparação das expressões de cálculo do fator solar no RCCTE e REH (adaptado de Coutinho, 2014)

RCCTE	REH
$g_{\perp} = 0.30\% g_{\perp}(\text{vidro}) + 70\% g_{\perp}(\text{vidro} + \text{proteção})$	$g_v = F_{mv} \times g_t + (1 - F_{mv}) \times g_{tp}$

Onde F_{mv} corresponde à fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar se encontram 100% ativos; g_t é o fator solar do envidraçado com os dispositivos de proteção solar 100% ativos e g_{tp} é o fator solar do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes.

No RCCTE, era assumido que as proteções solares se encontravam ativadas a 70%, logo o fator solar total correspondia a 30% do fator solar do vão envidraçado e os restantes 70% correspondiam ao fator solar do vão envidraçado com a proteção. Por sua vez, no REH considera-se que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram ativados na sua totalidade, por uma fração de tempo que depende do octante no qual o vão está orientado. Esta

metodologia destina-se a minimizar a incidência de radiação solar, que na estação de arrefecimento é evitada, contrariamente ao que sucede na estação de aquecimento.

3.4. Estimativa dos alojamentos de acordo com a reorganização administrativa do território (Fase 1)

Os procedimentos descritos na primeira fase da metodologia destinam-se à obtenção dos dados dos alojamentos residenciais, discriminados por número de pisos e datas de construção. Para tal, foi primeiro necessário recolher os dados relativos aos edifícios em Portugal. Dado o uso frequente destes dois termos, torna-se relevante distingui-los. Um alojamento é considerado o local onde habita um agregado familiar, isto é, uma unidade de habitação. Um edifício é uma construção que pode conter um ou mais alojamentos, se for um edifício residencial, ou se não tiver esse fim. Os conjuntos de dados dos edifícios foram recolhidos da base de dados do INE (Instituto Nacional de Estatística). Todos estes conjuntos de dados respeitantes aos edifícios e alojamentos, referentes a dados do Censos 2011 (INE, 2011), estão detalhados ao nível da freguesia. No entanto, encontram-se ainda ordenados de acordo com a antiga organização administrativa. Assim, o primeiro procedimento consistiu precisamente na atualização desses conjuntos de dados para a nova reorganização administrativa do território, sendo que para tal foram utilizadas as folhas de cálculo do Microsoft Excel. Esporadicamente, recorreu-se ao *software* de programação *R* para economizar tempo na execução de alguns processos mais repetitivos. A modificação dos dados para a nova organização administrativa envolveu diferentes procedimentos, que serão descritos no próximo capítulo.

3.4.1 Atualização dos dados dos edifícios para a nova divisão administrativa

O primeiro conjunto de dados a ser recolhido foi o número de edifícios desagregados por época de construção e número de pisos. Este conjunto será utilizado para exemplificar os diferentes procedimentos executados. O primeiro procedimento a ser realizado foi a organização de todos os conjuntos de dados retirados, consoante os respetivos códigos do município e freguesia e também das regiões NUTS a que pertencem. Apesar de este processo não ser indispensável para a concretização dos objetivos, teve como função facilitar a sua manipulação e tratamento, e, consequentemente, a execução de vários procedimentos necessários.

O passo seguinte consistiu na transformação dos dados da antiga divisão territorial para a mais recente organização administrativa. Este procedimento implicou sobretudo uma alteração num considerável número de freguesias, visto que a grande maioria das outras circunscrições administrativas permaneceram inalteradas. A mais frequente alteração efetuada foi a agregação de freguesias, processo no qual duas ou mais freguesias são unidas, tornando-se numa só. Os parâmetros como a população, os limites territoriais e a área da freguesia resultante correspondem à soma direta desses mesmos parâmetros das freguesias que a originaram. Para o conjunto de dados “Edifícios segundo data de construção e número de pisos”, cada freguesia

tem associada uma matriz de valores composto por onze linhas, que correspondem a onze datas de construção, e oito colunas, correspondendo a oito números diferentes de pisos. Se duas ou mais freguesias forem agregadas, o procedimento consiste em somar os valores situados na mesma posição das matrizes de cada freguesia, pois a mesma posição significa que são edifícios com as mesmas características, isto é, com a mesma época de construção e número de pisos. A título de exemplo, o número de edifícios com um piso e de época de construção anterior a 1919 de uma nova freguesia resultaria da soma do número de edifícios com um piso e da mesma época de construção de todas as freguesias unificadas. A Figura 3.7 ilustra o procedimento genérico de agregação simples de duas freguesias.

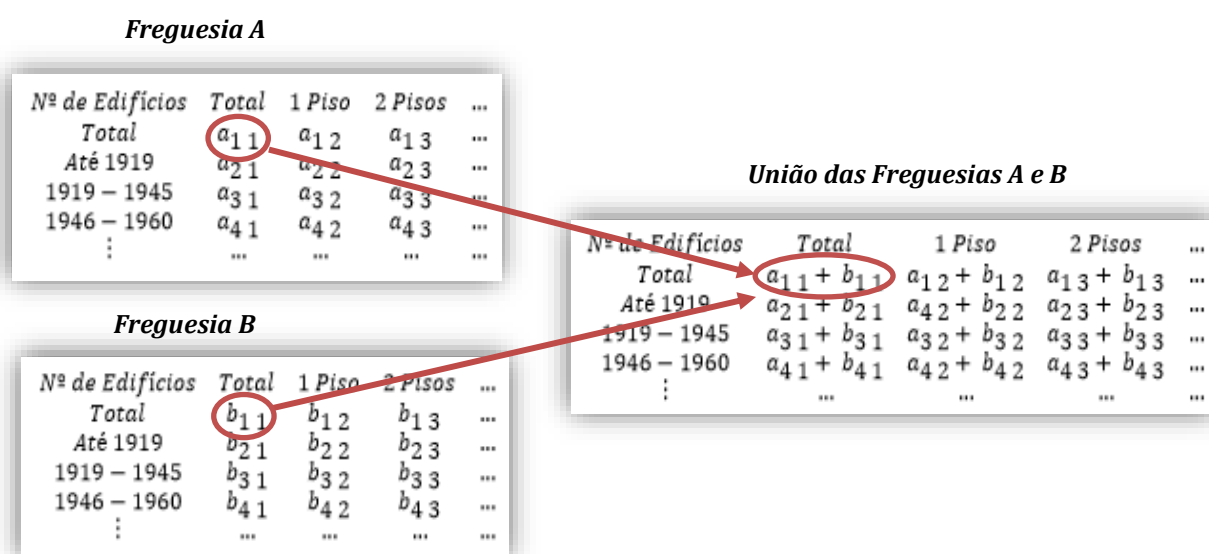


Figura 3.7 - Processo de agregação de duas freguesias

Na nova divisão administrativa foram efetuadas aproximadamente 900 agregações simples de freguesias. Como pode ser observado na Figura 3.7, para a maior parte dos casos, a designação da freguesia resultante é composta pela expressão “União das Freguesias”, seguida dos nomes das freguesias agregadas. Em casos excecionais, a nova freguesia assume a designação de uma das freguesias que a originaram ou então o nome conjunto de todas as freguesias, mas sem a expressão indicada. Em casos ainda mais excecionais, a nova freguesia adota uma designação totalmente distinta das designações das suas predecessoras.

Algumas freguesias mantiveram a mesma denominação, mas a sua delimitação territorial foi modificada, consequentemente alterando a sua área. Como não se encontram dados disponíveis relativos ao número de edifícios nas novas freguesias, não é possível saber ao certo se a alteração da área resulta igualmente numa alteração do número de edifícios nestas unidades territoriais. No entanto, o INE disponibiliza os dados da população referentes ao Censos 2011 (INE, 2011), de acordo com a antiga organização administrativa, mas também de acordo com a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) de 2013 (CAOP, 2013), que foi, por sua vez, desenvolvida com base na nova reorganização administrativa, possibilitando, assim, conhecer o

número de habitantes das novas unidades territoriais. Deste modo, a população foi a variável utilizada para avaliar a ocorrência de alterações no parque habitacional, através da comparação entre estes dois conjuntos de dados. Se o número de população é igual antes e depois da reorganização administrativa, considerou-se que o número de edifícios se manteve inalterado igualmente. Em situações em que se verificou efetivamente uma alteração no número de habitantes, foi feito um ajuste ao número de edifícios consoante essa alteração nos valores da população. Nos casos em que a população do município se manteve igual, mas os valores da população de uma ou mais freguesias dentro desse município sofreram alterações, calculou-se, para cada uma, a diferença entre o número de habitantes pré e pós reorganização administrativa, tendo o resultado dessa diferença sido dividido posteriormente pela população do município. Desta forma, obtém-se a razão entre a variação do número de habitantes da freguesia e a população total do município. Esta razão foi então multiplicada a todos os valores da matriz do município, criando assim uma nova matriz, contendo os números dos edifícios que constituem a variação entre a antiga e nova organização administrativa.

Este passo significa que a variação nos valores de população foi aplicada aos valores dos edifícios, isto é, a variação no número de edifícios foi considerada como sendo igual à variação dos números de população. Somaram-se de seguida os valores desta nova matriz aos valores da matriz inicial correspondente aos edifícios da antiga freguesia, de acordo com respetiva posição na matriz, obtendo-se a matriz referente aos edifícios da nova freguesia. A título de exemplo, a razão da variação da população de uma certa freguesia é multiplicada ao número de edifícios do respetivo município com um piso e data de construção anterior a 1919, e o resultado desta operação é então somado ao número de edifícios com um piso e com a mesma data de construção da freguesia em questão. O exemplo do procedimento genérico pode ser observado na Figura 3.8.

Freguesia A

Razão entre a variação da população da freguesia A e população do município = 0.2

Município da Freguesia A

Nº de Edifícios	Total	1 Piso	2 Pisos	...
Total	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...
Até 1919	a_{21}	a_{22}	a_{23}	...
1919 – 1945	a_{31}	a_{32}	a_{33}	...
1946 – 1960	a_{41}	a_{42}	a_{43}	...
...

Nº de Edifícios	Total	1 Piso	2 Pisos	...
Total	m_{11}	m_{12}	m_{13}	...
Até 1919	m_{21}	m_{22}	m_{23}	...
1919 – 1945	m_{31}	m_{32}	m_{33}	...
1946 – 1960	m_{41}	m_{42}	m_{43}	...
...

Nº de Edifícios	Total	1 Piso	2 Pisos	...
Total	$\text{Max}(0; a_{11} + (0.2 * m_{11}))$	$\text{Max}(0; a_{12} + (0.2 * m_{12}))$	$\text{Max}(0; a_{13} + (0.2 * m_{13}))$	...
Até 1919	$\text{Max}(0; a_{21} + (0.2 * m_{21}))$	$\text{Max}(0; a_{22} + (0.2 * m_{22}))$	$\text{Max}(0; a_{23} + (0.2 * m_{23}))$	...
1919 – 1945	$\text{Max}(0; a_{31} + (0.2 * m_{31}))$	$\text{Max}(0; a_{32} + (0.2 * m_{32}))$	$\text{Max}(0; a_{33} + (0.2 * m_{33}))$	...
1946 – 1960	$\text{Max}(0; a_{41} + (0.2 * m_{41}))$	$\text{Max}(0; a_{42} + (0.2 * m_{42}))$	$\text{Max}(0; a_{43} + (0.2 * m_{43}))$	...
...

Figura 3.8 – Ajuste do número de edifícios de uma freguesia

Na folha de cálculo de Excel, de forma a evitar que resultem valores negativos de edifícios deste cálculo, foi introduzida a função “MÁXIMO” e definido como primeiro argumento o zero, assegurando assim que este valor é o menor que poderá ocorrer. Estes valores negativos poder-se-iam verificar nos eventuais casos em que as freguesias ficaram com uma população menor após a reorganização administrativa. Como a população diminuiu, o número de edifícios da variação assume forma negativa. Se o valor da variação fosse superior, em valor absoluto, ao número de edifícios da freguesia antiga, o número de edifícios da nova freguesia seria negativo.

Ocasionalmente, duas ou mais freguesias foram agregadas, mas a soma das suas áreas e populações não corresponde à área e população da freguesia resultante, o que significa que não se tratou de uma simples agregação. Para estes casos específicos, foram aplicados ambos os métodos descritos anteriormente, o primeiro procedimento foi a agregação normal, seguida da determinação da variação do número de edifícios e cálculo dos edifícios para a nova delimitação territorial. Ainda em outras situações pontuais, a população das freguesias foi alterada e a população do município a que pertencem foi alterada igualmente. Para estes casos o procedimento assemelha-se ao adotado para as situações em que a população do município se manteve inalterada, apenas com uma diferença. Foi calculada a razão entre a antiga e atual população do município e essa razão foi utilizada para calcular a variação do número de edifícios para a matriz do município. Assim procedeu-se à atualização do número de edifícios também para o município.

3.4.2 Estimativa do Número de Alojamentos

Após a atualização de todos os conjuntos de dados para a atual organização administrativa do território português, procedeu-se à determinação do número de alojamentos, discriminados por data de construção e número de pisos. Na base de dados do INE encontram-se disponíveis dados relativos ao número de alojamentos por unidade territorial. Porém, é essencial ter os dados dos alojamentos desagregados pelas características “data de construção” e “número de pisos”, pois as tipologias de construção, que serão utilizadas mais adiante, baseiam-se nessas mesmas características.

Foram recolhidos e organizados consoante a reorganização administrativa três conjuntos de dados: “*Edifícios segundo data de construção e número de pisos*”; “*Edifícios por número de alojamentos, número de pisos e tipo de edifício*”, e ainda “*Alojamentos segundo a forma de ocupação e data de construção*”. Estes conjuntos de dados foram tratados de forma a dispor-se da informação na disposição necessária para a concretização do objetivo.

O conjunto de dados “*Alojamentos segundo a forma de ocupação e data de construção*” foi recolhido com o propósito de se calcular as percentagens dos alojamentos ocupados como residência habitual, para todas as circunscrições territoriais do país. Estas percentagens foram determinadas fazendo o quociente entre os alojamentos ocupados de residência habitual e o respetivo número total de alojamentos para cada unidade territorial. A utilização desta percentagem mais adiante, aquando da estimativa dos alojamentos segundo data de construção

e número de pisos, ditará, tal como se pretende, a exclusão dos alojamentos ocupados de segunda residência, bem como os alojamentos desocupados, que não serão considerados neste estudo.

No que respeita ao conjunto de dados “*Edifícios por número de alojamentos, número de pisos e tipo de edifício*”, cada divisão territorial tem associada uma matriz com nove linhas, como ilustrado na Figura 3.9. A primeira linha contém o número total de edifícios, a segunda linha corresponde ao número total de edifícios residenciais e as restantes representam os diferentes números de alojamentos sobre os quais o número total de edifícios residenciais está discriminado. Todos estes valores encontram-se desagregados por número de pisos, representados pelas diferentes colunas.

Unidade Territorial A

<i>Nº de Edifícios</i>	<i>Total</i>	<i>1 Piso</i>	<i>2 Pisos</i>	<i>3 Pisos</i>	<i>4 Pisos</i>	<i>5 Pisos</i>	<i>6 Pisos</i>	<i>7 + Pisos</i>
<i>Edifícios</i>	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
<i>Edifícios Residenciais</i>	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16
<i>1 alojamento</i>	a17	a18	a19	a20	a21	a22	a23	a24
<i>2 alojamentos</i>	a25	a26	a27	a28	a29	a30	a31	a32
<i>3 alojamentos</i>	a33	a34	a35	a36	a37	a38	a39	a40
<i>4 alojamentos</i>	a41	a42	a43	a44	a45	a46	a47	a48
<i>5 – 9 alojamentos</i>	a49	a50	a51	a52	a53	a54	a55	a56
<i>10 – 15 alojamentos</i>	a57	a58	a59	a60	a61	a62	a63	a64
<i>16 + alojamentos</i>	a65	a66	a67	a68	a69	a70	a71	a72

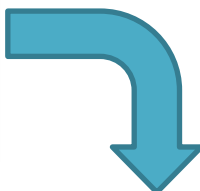
Figura 3.9 - Matriz genérica dos edifícios por número de pisos e alojamentos, para determinada unidade territorial

O objetivo da utilização deste conjunto de dados foi obter os dados relativos às percentagens dos edifícios residenciais, segundo o número de alojamentos, para todas as divisões territoriais. Para tal, os valores dos edifícios residenciais correspondentes a cada classe de número de alojamentos foram divididos pelo número total de edifícios, para a coluna correspondente, ou seja, para o correspondente número de pisos (Figura 3.10). Isto significa que, se forem somadas todas as percentagens dos edifícios por número de alojamentos para um certo número de pisos, o resultado dessa soma será idêntico à percentagem total de edifícios residenciais com o respetivo número de pisos. Como o número total de edifícios engloba os edifícios residenciais e edifícios não-residenciais, as percentagens calculadas, se somadas, não contabilizarão cem por cento.

Assim, ao utilizar estas percentagens, os edifícios não-residenciais estão a ser descartados, o que significa que na determinação do conjunto de dados dos alojamentos que se pretende obter, alguns alojamentos localizados nestes edifícios para fins não-residenciais não serão contabilizados para esses cálculos. Devido a este passo, é possível afirmar que se verificará uma ligeira subestimação dos números dos alojamentos, que serão determinados posteriormente.

Unidade Territorial A

Nº de Edifícios	Total	1 Piso	2 Pisos	...
Edifícios	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...
Edifícios Residenciais	a_{21}	a_{22}	a_{23}	...
1 alojamento	a_{31}	a_{32}	a_{33}	...
2 alojamentos	a_{41}	a_{42}	a_{43}	...
3 alojamentos	a_{51}	a_{52}	a_{53}	...
⋮



Percentagem	Total	1 Piso	2 Pisos	...
Edifícios Residenciais	$(a_{21} / a_{11}) * 100$	$(a_{22} / a_{12}) * 100$	$(a_{23} / a_{13}) * 100$	...
1 alojamento	$(a_{31} / a_{11}) * 100$	$(a_{32} / a_{12}) * 100$	$(a_{33} / a_{13}) * 100$	...
2 alojamentos	$(a_{41} / a_{11}) * 100$	$(a_{42} / a_{12}) * 100$	$(a_{43} / a_{13}) * 100$	...
3 alojamentos	$(a_{51} / a_{11}) * 100$	$(a_{52} / a_{12}) * 100$	$(a_{53} / a_{13}) * 100$	...
⋮

Figura 3.10 – Processo efetuado para a obtenção dos edifícios residenciais (%)

Finalmente, após se obter os conjuntos de dados relativos aos edifícios ocupados de residência habitual, em percentagem, segundo data de construção, e as percentagens dos edifícios residenciais por número de alojamentos e número de pisos, foi possível avançar para a determinação dos dados dos alojamentos desagregados pelas características necessárias, utilizando, igualmente, os dados dos edifícios por data de construção e número de pisos. Considerando estes três conjuntos dados, ilustrados nas Figuras 3.11, 3.12 e 3.13, denota-se que não se encontram todos discriminados exatamente pelas mesmas características, circunstância que ditará a execução dos procedimentos que, de seguida, se descreverão.

Nº de Edifícios	Total	1 Piso	2 Pisos	3 Pisos	4 Pisos	5 Pisos	6 Pisos	7 + Pisos
Total	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{15}	b_{16}	b_{17}	b_{18}
Até 1919	b_{21}	b_{22}	b_{23}	b_{24}	b_{25}	b_{26}	b_{27}	b_{28}
1919 – 1945	b_{31}	b_{32}	b_{33}	b_{34}	b_{35}	b_{36}	b_{37}	b_{38}
1946 – 1960	b_{41}	b_{42}	b_{43}	b_{44}	b_{45}	b_{46}	b_{47}	b_{48}
1961 – 1970	b_{51}	b_{52}	b_{53}	b_{54}	b_{55}	b_{56}	b_{57}	b_{58}
1971 – 1980	b_{61}	b_{62}	b_{63}	b_{64}	b_{65}	b_{66}	b_{67}	b_{68}
1981 – 1990	b_{71}	b_{72}	b_{73}	b_{74}	b_{75}	b_{76}	b_{77}	b_{78}
1991 – 1995	b_{81}	b_{82}	b_{83}	b_{84}	b_{85}	b_{86}	b_{87}	b_{88}
1996 – 2000	b_{91}	b_{92}	b_{93}	b_{94}	b_{95}	b_{96}	b_{97}	b_{98}
2001 – 2005	b_{101}	b_{102}	b_{103}	b_{104}	b_{105}	b_{106}	b_{107}	b_{108}
2006 – 2011	b_{111}	b_{112}	b_{113}	b_{114}	b_{115}	b_{116}	b_{117}	b_{118}

Figura 3.11 – Dados relativos aos edifícios por número de pisos e data de construção

% Edifícios Residenciais	Total	1 Piso	2 Pisos	3 Pisos	4 Pisos	5 Pisos	6 Pisos	7 + Pisos
Total	d_{11}	d_{12}	d_{13}	d_{14}	d_{15}	d_{16}	d_{17}	d_{18}
1 Alojamento	d_{21}	d_{22}	d_{23}	d_{24}	d_{25}	d_{26}	d_{27}	d_{28}
2 Alojamentos	d_{31}	d_{32}	d_{33}	d_{34}	d_{35}	d_{36}	d_{37}	d_{38}
3 Alojamentos	d_{41}	d_{42}	d_{43}	d_{44}	d_{45}	d_{46}	d_{47}	d_{48}
4 Alojamentos	d_{51}	d_{52}	d_{53}	d_{54}	d_{55}	d_{56}	d_{57}	d_{58}
5 – 9 Alojamentos	d_{61}	d_{62}	d_{63}	d_{64}	d_{65}	d_{66}	d_{67}	d_{68}
10 – 15 Alojamentos	d_{71}	d_{72}	d_{73}	d_{74}	d_{75}	d_{76}	d_{77}	d_{78}
16 + Alojamentos	d_{81}	d_{82}	d_{83}	d_{84}	d_{85}	d_{86}	d_{87}	d_{88}

Figura 3.12 – Dados relativos aos edifícios residenciais por piso e número de alojamentos (%)

%	Percentagem de alojamentos ocupados de residência habitual
Total	p_1
Até 1919	p_2
1919 – 1945	p_3
1946 – 1960	p_4
1961 – 1970	p_5
1971 – 1980	p_6
1981 – 1990	p_7
1991 – 1995	p_8
1996 – 2000	p_9
2001 – 2005	p_{10}
2006 – 2011	p_{11}

Figura 3.13 – Dados relativos aos edifícios ocupados de residência habitual (%)

O primeiro procedimento envolveu multiplicar os valores dos edifícios, do conjunto de dados “*Edifícios segundo data de construção e número de pisos*”, pelas percentagens dos edifícios residenciais segundo o número de alojamentos e número de pisos, e pelo respetivo número de alojamentos por edifício. O parâmetro “*número de pisos*”, o único comum aos dois conjuntos, representa a base da conexão e do produto entre estes dois conjuntos de dados. Isto significa que, para cada número de pisos e data de construção específicos, foi feito o produto entre o número de edifícios, as diferentes percentagens dos edifícios, segundo o número de alojamentos que contêm, e os respetivos números de alojamentos associados a essas percentagens. Como os dados relativos às percentagens dos edifícios por número de alojamentos e número de pisos não estão desagregados consoante a data de construção, para a mesma classe de número de pisos, as percentagens a serem multiplicadas são iguais para todas as datas de construção. No entanto, o número de edifícios a serem multiplicados varia consoante a data de construção, pelo que, para cada data, um diferente número de edifícios será multiplicado pelas percentagens referidas. Na Figura 3.14 observa-se um exemplo genérico deste procedimento, onde o número de edifícios com um piso e de data de construção de 1991-1995 é multiplicado pelas diferentes percentagens dos edifícios residenciais segundo o número de alojamentos, que têm apenas um piso, e também pelos respetivos números de alojamentos. O resultado deste cálculo corresponde ao número de alojamentos em edifícios com um piso e de data de construção de 1991 -1995. É relevante referir que o conjunto de dados “*Edifícios por número de pisos e número de alojamentos*” possui sete diferentes classes de números de alojamentos, ou seja, a sua matriz de valores possui sete linhas. As últimas três linhas ou classes são intervalos de valores, ao invés de serem apenas um valor. Foi necessário atribuir um valor que representasse cada um desses intervalos, de modo a tornar possível o cálculo descrito previamente. Como os dois primeiros intervalos, 5-9 alojamentos e 10-15 alojamento, são constituídos por um mínimo e um máximo, procedeu-se ao cálculo do valor médio de cada um, 7,5 e 12,5 respetivamente, valores estes que foram utilizados para o cálculo. O último intervalo, designado de 16 ou mais alojamentos, possui apenas a indicação do valor mínimo, pelo que se utilizou o valor 18 para representar o referido intervalo. Da soma de todos estes produtos resulta o conjunto de dados “*Alojamentos por data de construção e número de pisos do edifício*”.

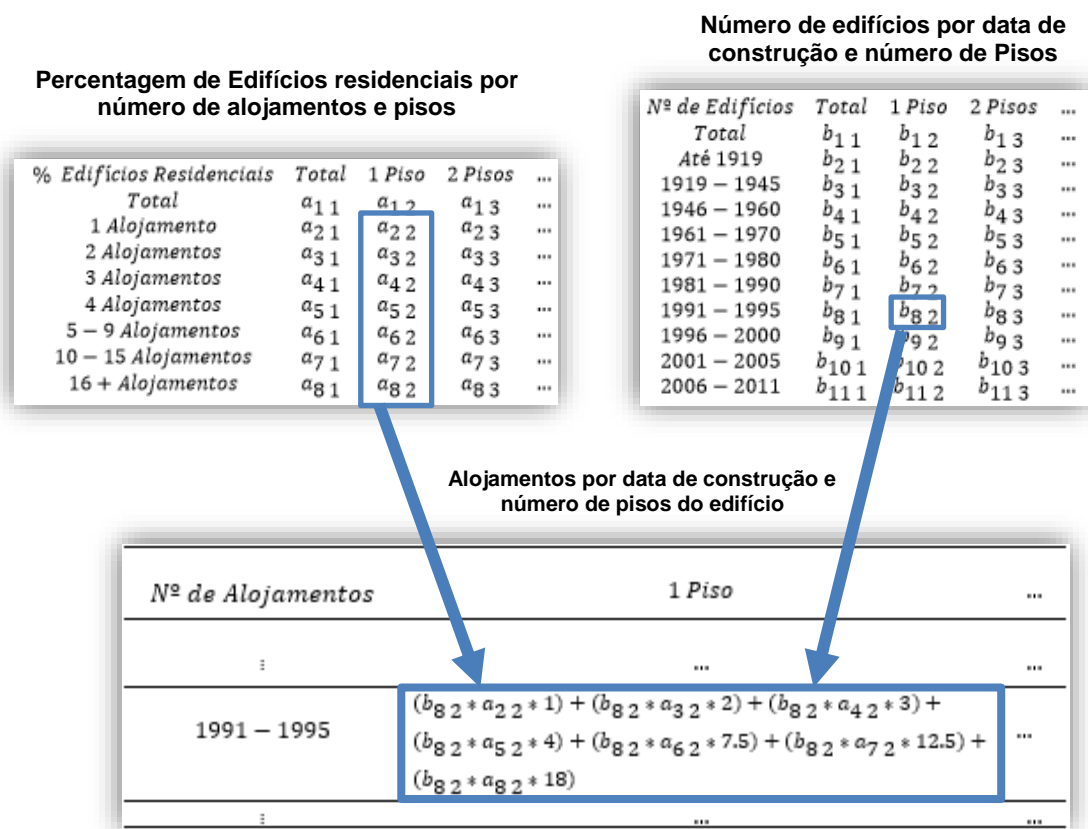


Figura 3.14 - Processo genérico de cálculo do número de alojamentos por número de pisos e data de construção do edifício

Este cálculo assume como pressuposto que as percentagens dos edifícios residenciais segundo o número de alojamentos são iguais para os edifícios de todas as datas de construção, com o mesmo número de pisos. Assim, considera-se que estas percentagens variam unicamente com o número de pisos. Foi necessário fazer esta assunção, devido à falta de dados relativos aos edifícios simultaneamente organizados segundo número de alojamentos e data de construção, e pelo parâmetro número de pisos ser o único comum aos conjuntos de dados utilizados. Sem um parâmetro em comum, não seria possível realizar este cálculo. Na realidade, é pouco provável que os edifícios de todas as datas, para o mesmo número de pisos, tenham associada exatamente a mesma variação de percentagem do número de alojamentos, pelo que esta consideração poderá ser responsável pela introdução de alguma incerteza ou erro no valor final de alojamentos. Ressalva-se que o resultado desta determinação é o número de alojamentos por data de construção e número de pisos do edifício a que pertencem e não o número de alojamento por número de pisos, ou seja, o número de pisos é referente ao edifício e não à unidade de alojamento em si.

Após obter este conjunto de dados, o próximo passo foi calcular o número de alojamento ocupados e de residência habitual. Para tal, foi utilizado o terceiro conjunto de dados, previamente atualizado - as percentagens dos alojamentos ocupados de residência habitual. Apesar destas percentagens estarem desagregadas por data de construção, apenas o valor total para cada unidade territorial foi utilizado para todos os valores de alojamentos da matriz. Como

o conjunto de dados “Edifícios por número de alojamento e pisos” não se encontrava organizado por data de construção, os valores de alojamentos estimados a partir desse conjunto, no que concerne à data de construção, não estão com o maior nível de rigor, pelo que isso significará que a proporção do número de alojamentos segundo as datas de construção não será a mesma que no conjunto de dados “Alojamentos segundo a forma de ocupação e data de construção” . Se as percentagens dos alojamentos consoante as datas de construção fossem utilizadas para todos os alojamentos dos vários pisos, o resultado da soma dos alojamentos de toda a matriz não seria idêntico ao número de alojamentos total. Um exemplo do procedimento genérico encontra-se ilustrado na Figura 3.15.

Nº de Alojamentos	Total	1 Piso	2 Pisos	...
Total	d_{11}	d_{12}	d_{13}	...
Até 1919	d_{21}	d_{22}	d_{23}	...
1919 – 1945	d_{31}	d_{32}	d_{33}	...
1946 – 1960	d_{41}	d_{42}	d_{43}	...
1961 – 1970	d_{51}	d_{52}	d_{53}	...
...

%	Percentagem de Alojamentos ocupados de residência habitual
Total	p_{11}
Até 1919	p_{21}
1919 – 1945	p_{31}
1946 – 1960	p_{41}
...	...

Alojamentos ocupados de residência habitual	Total	1 Piso	2 Pisos	...
Total	$d_{11} * p_{11}$	$d_{12} * p_{11}$	$d_{13} * p_{11}$	...
Até 1919	$d_{21} * p_{11}$	$d_{22} * p_{11}$	$d_{23} * p_{11}$	...
1919 – 1945	$d_{31} * p_{11}$	$d_{32} * p_{11}$	$d_{33} * p_{11}$	...
1946 – 1960	$d_{41} * p_{11}$	$d_{42} * p_{11}$	$d_{43} * p_{11}$	...
1961 – 1970	$d_{51} * p_{11}$	$d_{52} * p_{11}$	$d_{53} * p_{11}$	...
...

Figura 3.15 – Processo efetuado para a obtenção dos dados relativos aos alojamentos ocupados de residência habitual

3.5. Determinação das necessidades e consumo de energia final para aquecimento e arrefecimento e *gap* de desempenho energético para o conforto térmico (Fase 2)

A 2ª fase da metodologia engloba duas partes distintas que apesar de terem sido executadas de forma paralela, convergirão ambas no processo de determinação das necessidades e consumos efetivos de energia para aquecimento e arrefecimento, para as freguesias da nova organização administrativa, o que constitui o objetivo desta fase. A primeira parte compreende a construção das tipologias de edifícios e respetiva alocação do número de alojamentos a cada tipologia, enquanto a segunda parte diz respeito à determinação das necessidades de energia útil e consumos de energia para climatização, à luz do mais recente regulamento do desempenho energético de edifícios (REH). Para além de trabalho efetuado em folhas de cálculo, esta fase metodológica envolveu igualmente pesquisa bibliográfica, na medida em que o seu desenvolvimento se baseou em metodologias de outros trabalhos de investigação.

A definição das tipologias de edifícios teve principalmente como base o trabalho desenvolvido por Lopes (2010), na sua tese “*Potencial de Poupança de energia na climatização de edifícios habitacionais*”, de 2010. Lopes (2010) construiu tipologias com base em diferentes características do edificado e da região particular onde se situa. Através da consulta de literatura e da utilização dos programas de informação geográfica *GoogleEarth* e *BingMaps*, analisou e observou um número específico de edifícios para cada tipologia, selecionando posteriormente as características mais comuns. Cada tipologia foi definida pelos valores médios das características da respetiva família de edifícios analisada. Para cada uma das dezasseis regiões, o número de tipologias definidas variou entre cinco e seis, com representatividades dentro de cada família de edifícios nunca inferiores a 81%.

No trabalho de Lopes (2010) foram usados os dados dos edifícios e alojamentos relativos a 2001, pois o Censos de 2011 ainda não se tinha realizado na altura da conclusão do trabalho. Para estabelecer a conexão adequada entre os dados do INE e as tipologias criadas, isto é, para atribuir valores corretos de edifícios a cada tipologia, foram tidas em conta características como a data de construção, o tipo de edifício e o número de pisos. Após a organização dos edifícios por tipologia, multiplicou esses valores pelo número de alojamentos assumido para cada tipologia de edifício, obtendo assim o número de alojamento por tipologia, processo este distinto do realizado neste trabalho.

Em 2013, o projeto *ClimAdaPT.local* (Simões *et al.*, 2015) desenvolveu uma ferramenta em forma de folha de cálculo, designado de *BldAdaPT*, com o objetivo de avaliar a atual e futura vulnerabilidade às alterações climáticas do *stock* de edifícios residenciais, tendo em conta o conforto térmico dos habitantes, para o total de vinte e três municípios de Portugal. Este projeto teve como base o trabalho desenvolvido por Lopes (2010), procedendo até, em alguns aspetos, a uma atualização desse trabalho, particularmente ao nível das tipologias. Como o âmbito deste trabalho focava apenas em vinte e três municípios, algumas regiões e as respetivas tipologias definidas por Lopes (2010) não foram tidas em conta. Porém, para as regiões onde os municípios alvo se inseriam, foram estabelecidas novas tipologias, que foram acrescentar às já existentes, criadas por Lopes (2010). Estas novas tipologias permitiram incluir dados de edifícios relativos ao período de 2001 a 2011, tendo para tal sido utilizados os dados do Censos de 2011, do INE. Isto levou a um aumento da representatividade do edificado dos municípios sobre os quais o estudo se focou.

Tendo em consideração estes dois estudos, decidiu-se estabelecer, neste trabalho, um total de onze tipologias para todas as regiões definidas por Lopes (2010). As regiões de Lopes (2010) são mantidas pois os parâmetros das tipologias dos edifícios, a serem utilizados no cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento, variam consoante essas regiões. A sua consideração aumenta o grau de detalhe e qualidade dos resultados. Estas regiões podem ser consultadas na Figura 3.16.

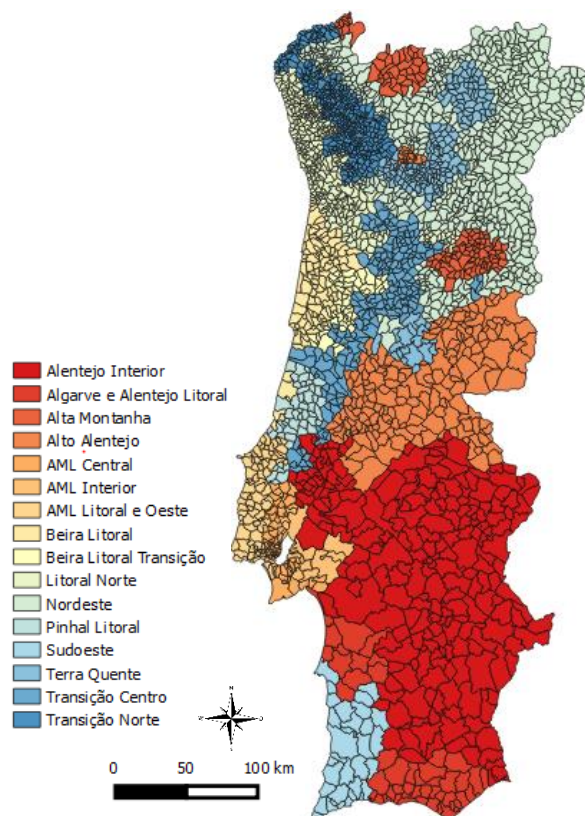


Figura 3.16 - Regiões utilizadas para a definição de tipologias (Adaptado de Lopes, 2010)

O trabalho de Lopes (2010) não incidiu sobre as Regiões Autónomas, não tendo o autor construído tipologias para estas regiões. Assim, considerou-se que estas se inserem na Região “Algarve e Alentejo Litoral”, considerando as tipologias e os parâmetros característicos desta região para o cálculo das necessidades de climatização das Regiões Autónomas, à imagem dos procedimentos do BldAdaPT. Optou-se por estabelecer onze tipologias para todas as regiões com o objetivo de englobar um maior número de alojamentos e consequentemente aumentar a representatividade das regiões e de todas as unidades territoriais que nelas se inserem. É relevante ressaltar que as tipologias previamente estabelecidas por Lopes (2010), para as diferentes regiões, foram utilizadas para este trabalho, com pontuais alterações no valor de determinadas características. As tipologias criadas (e respetivos códigos de identificação) foram as seguintes:

- Casa de antes de 1919 (“TPC01”)
- Casa de 1919 -1945 (“TPC02”)
- Prédio de 1919 – 1945 (“TPE02”)
- Casa de 1946 -1960 (“TPC03”)
- Prédio de 1946 -1960 (“TPE03”)
- Casa de 1961 -1980 (“TPC04”)
- Prédio de 1961 -1980 (“TPE04”)
- Casa de 1981 -2005 (“TPC05”)
- Prédio de 1981 -2005 (“TPE05”)
- Casa de 2006 -2011 (“TPC06”)
- Prédio de 2006 – 2011 (“TPE06”)

Algumas das novas tipologias terão um reduzido número de alojamentos associado, o que constitui uma consequência do aumento do número de tipologias, visto que irão representar a percentagem de alojamentos que não estava a ser contabilizada nos trabalhos anteriormente referidos. As novas tipologias não foram previamente caracterizadas, a nível dos parâmetros construtivos, como as tipologias estabelecidas por Lopes (2010) e as tipologias acrescentadas na ferramenta BldAdaPT. Por outras palavras, para as restantes tipologias criadas não são conhecidos os valores dos parâmetros construtivos, essenciais para se proceder ao cálculo das necessidades energéticas. Para solucionar este problema foram atribuídos os valores das características das tipologias definidas por Lopes (2010) às novas tipologias. O critério foi atribuir valores de tipologias da mesma região, do mesmo tipo de edifícios e por proximidade de data de construção. No caso de estarem disponíveis dados do mesmo tipo de tipologia, para a mesma região, do período de construção imediatamente anterior e imediatamente posterior, foi efetuada uma média aritmética. Assim, por exemplo, se a nova tipologia for uma casa de 1961 - 1980, serão utilizados os dados da média das tipologias correspondentes à tipologia relativa à casa de 1945 - 1960 e de 1981 - 2005. Se não existirem dados para uma dessas tipologias, são utilizados os dados da outra. O facto de se atribuir os dados de tipologias que pertencem à mesma região, permite salvaguardar a variedade de especificidades do edificado de cada região.

As duas principais características que distinguem as tipologias são o tipo de edifício, casa ou prédio, e a data de construção. Comparativamente às tipologias de Lopes (2010) e do projeto BldAdaPT, foi efetuada uma alteração nos intervalos de período de construção. As datas de construção 1981-1990, 1990-2000 e 2001-2005 foram agregados em apenas um intervalo, 1981-2005. Foi efetuado este procedimento para criar tipologias relativas a 2006-2011, que representem as condições e requisitos definidos pelo RCCTE, implementado precisamente em 2006. Para essas tipologias, os valores das características do edificado foram alterados para cumprir os requisitos desse regulamento.

O próximo passo foi atribuir os dados estimados de alojamentos, discriminados por número de pisos e data de construção do edifício a que pertencem, pelas tipologias criadas. Para este propósito, foi assumido que os edifícios com um ou dois pisos constituíam casas enquanto os edifícios com mais de dois pisos foram considerados com prédios. Assim, os dados dos alojamentos foram atribuídos às tipologias de acordo com o tipo de edifício e período de construção.

Os dados foram ainda organizados por região e zona climática. Lopes (2010) definiu as regiões no seu trabalho de forma a que numa região existisse apenas uma zona climática. No entanto, o seu trabalho é baseado no anterior regulamento do desempenho energético dos edifícios (RCCTE). Por sua vez, o REH trouxe alterações às zonas climáticas. Como neste trabalho se mantiveram as regiões definidas por Lopes (2010), bem como os valores dos seus parâmetros construtivos, de forma a não perder as particularidades regionais do edificado, mas, por outro lado, se utilizou o mais recente regulamento, algumas regiões irão englobar mais do que uma zona climática.

3.5.1 Metodologia de cálculo das necessidades de energia útil de aquecimento e arrefecimento

Para o cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento, foi utilizada a metodologia definida no regulamento REH. A metodologia de determinação destas necessidades está de acordo com as disposições da norma europeia EN ISO 13790. Foi utilizado o trabalho já efetuado no âmbito do projeto BldAdaPT, em que foram calculadas as necessidades de energia útil de vinte e três municípios portugueses. Procedeu-se à atualização da metodologia e valores dos parâmetros para o regulamento REH, pois no projeto foram estimadas as necessidades de acordo com o anterior regulamento. Apesar do REH apenas fornecer dados por região NUTS III, foi possível calcular as necessidades para todos os municípios do país, pois foram utilizados dados climáticos (graus-dia, duração da estação de aquecimento, temperaturas exteriores e zonas climáticas) a nível do município, obtidos através de uma ferramenta de cálculo de avaliação do comportamento térmico e desempenho energético de um pequeno edifício de comércio e serviços, desenvolvidas pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade (IteCons, 2015). De acordo com os dados desta ferramenta foram estabelecidas zonas climáticas mistas, resultantes da agregação das zonas climáticas de inverno e verão (Figura 3.17).

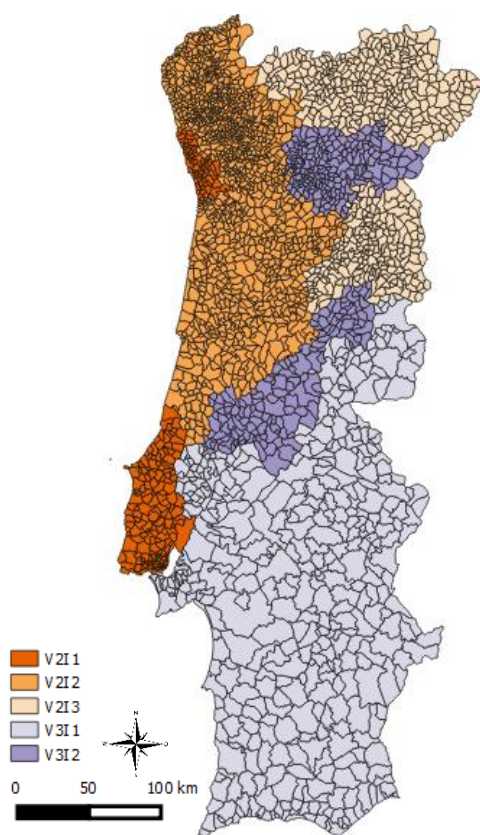


Figura 3.17 - Mapas das zonas climáticas definidas pela agregação das zonas climáticas de inverno e verão (adaptado de IteCons, 2015)

3.5.1.1. Necessidades de energia útil para aquecimento

A expressão geral para o cálculo das necessidades de energia útil para aquecimento encontra-se representada pela equação 7, apresentada de seguida:

$$N_{ic} = \frac{(Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})}{A_p} \quad [kWh/m^2.ano] \quad (\text{equação 7})$$

Em que $Q_{tr,i}$ é a transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, [kWh]; $Q_{ve,i}$ corresponde à transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [kWh]; $Q_{gu,i}$ representa os ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, [kWh] e A_p é a área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m²].

Quanto maior forem as perdas de calor de certo edifício, maior serão as suas necessidades térmicas úteis. Pelo contrário, quanto maior forem os ganhos térmicos, menor serão as necessidades. A transferência de calor por transmissão através da envolvente foi calculada pela equação 8:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} \quad [kWh] \quad (\text{equação 8})$$

Em que: GD corresponde ao número de graus-dias de aquecimento especificados para cada região NUTS III, [°C.dia] e $H_{tr,i}$ é o coeficiente global de transferência de calor por transmissão, [W/°C].

Segundo o regulamento, o coeficiente global de transmissão de calor é calculado através da soma de quatro diferentes coeficientes de transmissão, tal como demonstrado na equação 9:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad [W/°C] \quad (\text{equação 9})$$

Em que H_{ext} é o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, [W/°C]; H_{enu} é o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, [W/°C]; H_{adj} é o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes, [W/°C]; H_{ecs} é o coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo, [W/°C].

No contexto deste trabalho, os coeficientes relativos à transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes e através de elementos em contacto com o solo não foram determinados, por falta de dados. Então, como os coeficientes H_{adj} e H_{ecs} são considerados nulos, $H_{tr,i}$ é calculado através da equação 10:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} \quad [W/^{\circ}C] \quad (\text{equação 10})$$

Os coeficientes H_{enu} e H_{ext} são determinados pelas equações 11 e 12 respetivamente.

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \quad [W/^{\circ}C] \quad (\text{equação 11})$$

e

$$H_{enu} = b_{tr} \times \left(\sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \right) \quad [W/^{\circ}C] \quad (\text{equação 12})$$

Em que U_i é o coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente, $[W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)]$; A_i corresponde à área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício, $[m^2]$; ψ_j é o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j , $[W/(m \cdot ^{\circ}C)]$; B_j representa o desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício, $[m]$; e b_{tr} corresponde ao coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente.

No cálculo destes dois coeficientes, para este trabalho, por falta de dados, não foi tida em conta a parcela relativa às pontes térmicas e ao desenvolvimento, pelo que as fórmulas para esses parâmetros nestes contextos estão representadas pelas equações 13 e 14:

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \cdot A_i] \quad [W/^{\circ}C] \quad (\text{equação 13})$$

e

$$H_{enu} = b_{tr} \times \left(\sum_i [U_i \cdot A_i] \right) \quad [W/^{\circ}C] \quad (\text{equação 14})$$

O coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente (b_{tr}) foi considerado para os cálculos como sendo igual a 1. A forma como os restantes parâmetros são calculados pode ser observado no Anexo A.

3.5.1.2 Necessidades de energia útil para arrefecimento

A equação geral (equação 15) para o cálculo das necessidades de energia útil para arrefecimento é a seguinte:

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) \cdot Q_{g,v} / A_p \quad [kWh/m^2 \cdot ano] \quad (\text{equação 15})$$

Em que η_v é o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento; $Q_{g,v}$ representa os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, $[kWh]$; e A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, $[m^2]$. O fator de utilização é determinado da

mesma forma que o fator de utilização dos ganhos térmicos para a estação de aquecimento (Anexo A).

A transferência de calor por transmissão que ocorre através da envolvente é obtida através da seguinte expressão (equação 16):

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v / 1000 \quad [kWh] \quad (\text{equação 16})$$

Em que $H_{tr,v}$ é o coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, $[W/^\circ C]$; $\theta_{v,ref}$ é a temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia na estação de arrefecimento, igual a $25^\circ C$; $\theta_{v,ext}$ corresponde à temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento, $[^\circ C]$; e L_v representa a duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas.

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão ($H_{tr,v}$) é determinado da mesma forma para a estação de aquecimento e arrefecimento, tal como os coeficientes de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior (H_{ext}) e elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis (H_{enu}), que o constituem no contexto deste trabalho. As expressões de cálculo dos restantes parâmetros podem ser consultadas no Anexo A. Através das metodologias descritas, foram então obtidas as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento, por ano e metro quadrado, para cada uma das onze tipologias de edifício, de cada um dos municípios de Portugal.

3.5.2. Cálculo das necessidades de energia final para aquecimento e arrefecimento

O passo seguinte foi a determinação das necessidades de energia final de aquecimento e arrefecimento. O primeiro procedimento foi dividir a área de cada tipologia de edifício pelo número de alojamentos considerados para essa tipologia, de forma a obter-se a área de cada alojamento, em cada tipologia. De seguida, multiplicou-se o valor das necessidades de energia útil, por ano e metro quadrado, pela área de um alojamento, para cada uma das tipologias dos vários municípios. Assim, foi possível obter o valor das necessidades de energia útil por ano e por alojamento, para todas as tipologias dos diferentes municípios.

Todos os cálculos anteriores foram efetuados ao nível do município. Para se obter as necessidades de energia final, e desta feita por freguesia, foi necessário utilizar as taxas de posse de equipamentos de aquecimento e arrefecimento. Os dados de taxa de posse de equipamentos de aquecimento foram retirados do projeto BldAdaPT, sendo que se encontravam discriminados ao nível da freguesia, mas da antiga organização administrativa do território. Foram então transformados para se adequarem à nova organização administrativa. Não se encontram disponíveis taxas de posse de equipamentos de arrefecimento a nível de freguesia

ou conzelho, pelo que tiveram de ser utilizadas taxas nacionais, retiradas do Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (ICESD), de 2010 (INE/DGEG, 2010).

Os dados de taxas de posse de equipamentos de aquecimento encontram-se divididos de acordo com dois tipos de edifícios, vivenda e prédio, e dizem respeito a vários equipamentos de climatização. Foram assumidos valores de eficiência médios para os cálculos da energia final, de acordo com os valores do *toolkit* BldAdaPT. Os equipamentos de aquecimento considerados e as respetivas eficiências são os seguintes:

- Lareira aberta ($\eta = 35\%$);
- Lareira recuperador de calor ($\eta = 60\%$);
- Salamandra ($\eta = 55\%$);
- Aquecimento central a biomassa ($\eta = 70\%$);
- Aquecimento central a gasóleo ($\eta = 75\%$);
- Aquecimento central a gás natural ($\eta = 75\%$);
- Aquecimento elétrico independente ($\eta = 99\%$);
- Aquecimento a GPL independente ($\eta = 85\%$);
- Bomba de calor ($\eta = 2.2$).

Por sua vez, os equipamentos utilizados para arrefecimento são os seguintes:

- Ar condicionado ($\eta = 2.38$);
- Ventilação ($\eta = 1$);
- Bomba de calor ($\eta = 2.3$).

No cálculo da energia final, foram utilizadas as taxas de posse relativas a vivendas para as tipologias representativas de uma casa, enquanto que para as tipologias representativas de prédios foram utilizadas as respetivas taxas de posse de prédios. Estas taxas de posse dizem respeito apenas aos alojamentos com algum tipo de equipamento de climatização, sendo que, por isso, a sua contabilização total é igual a um. Para este cálculo, foi assumido que toda a população têm um equipamento de aquecimento ou arrefecimento na sua habitação, de forma a poder contabilizar todos os alojamentos, pois tendo ou não equipamento de climatização, todos os alojamentos têm necessidades de aquecimento e arrefecimento associadas. Na realidade, existe parte da população que não possui qualquer equipamento de climatização. Para determinar a energia final é, no entanto, necessário conhecer o tipo de equipamento que utiliza energia para a provisão de aquecimento ou arrefecimento, e particularmente a sua eficiência. Assim, para contornar este problema, a distribuição de taxas de posse dos equipamentos que se conhece para a parte da população que possui algum tipo de equipamento, foi utilizada para todos os alojamentos. Por outras palavras, assumiu-se que, se todos os alojamentos possuíssem equipamentos de climatização, a proporção destes equipamentos seria a mesma do que a verificada na parte dos alojamentos que atualmente possui equipamentos.

Assim, a expressão (equação 17) utilizada para o cálculo da energia final de aquecimento ou arrefecimento, para determinada tipologia de uma freguesia, foi a seguinte:

$$Nt = \sum_i \frac{N_c * TX_i}{\eta_i} \quad [kWh] \quad (\text{equação 17})$$

Em que N_c corresponde às necessidades de energia útil para aquecimento ou arrefecimento da tipologia $[kWh/(\text{ano.alojamento})]$; TX_i é a taxa de posse do equipamento de aquecimento ou arrefecimento i ; e η_i corresponde à eficiência do equipamento de aquecimento ou arrefecimento i .

Através desta fórmula foram calculados os valores das necessidades de energia final das tipologias de determinada freguesia. De seguida, através da seguinte expressão (equação 18), são determinadas as necessidades de energia final da freguesia:

$$Nf = \sum_i Nt_i \cdot Aloj_i \quad [kWh] \quad (\text{equação 18})$$

Em que Nt_i são as necessidades de energia final de aquecimento ou arrefecimento da tipologia i , $[kWh/\text{ano.alojamento}]$; e $Aloj_i$ corresponde ao número de alojamentos da tipologia i .

São multiplicadas as necessidades de certa tipologia pelo número de alojamento atribuídos à respetiva tipologia, para determinada freguesia, obtendo-se, assim, as necessidades de energia final de climatização dessa freguesia. Com os dados de necessidades ao nível da freguesia, é possível determinar as necessidades dos municípios e do país, através de uma soma direta.

3.5.3. Estimativa do consumo efetivo para aquecimento e arrefecimento

De forma a estimar o consumo efetivo para aquecimento e arrefecimento ao nível da freguesia, foram retirados os dados mais recentes do consumo de combustíveis no setor doméstico, por município, relativos ao ano 2013, da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG, 2017). Foram retirados os consumos de eletricidade, gás natural, butano, propano e gasóleo de aquecimento. Não se encontravam disponíveis os consumos de biomassa e de energia solar para aquecimento discriminados por município. Por esta razão, estes consumos foram estimados utilizando o número de alojamentos de cada município, o consumo destes combustíveis por alojamento, retirado do ICESD (INE/DGEG, 2011), e a fração de alojamentos que possui equipamentos que utilizem este combustível ou forma de energia. A expressão genérica utilizada para a determinação destes consumos domésticos efetivos, para uma determinada freguesia, encontra-se exemplificada na equação 19:

$$CEFreg = C_{aloi,i} \cdot TX_i \cdot Aloj_i \quad [kWh] \quad (\text{equação 19})$$

Na qual $C_{\text{aloi},i}$ é o consumo do combustível por alojamento da freguesia i , [kWh/ano.alojamento]; TX_i é a taxa de posse de equipamento do referido combustível na freguesia i ; e $Aloj_i$ é o número total de alojamentos da freguesia i .

Assim, foi possível obter o consumo de todos os combustíveis usados no setor doméstico. De seguida, procurou-se determinar o consumo destes combustíveis destinado apenas para fins de climatização. A percentagem de energia final que é utilizada para climatização varia de região para região, de município para município, estando relacionada com as condições climáticas. De modo a evitar utilizar as proporções nacionais que desvirtuam a estimativa dos consumos municipais de energia final para climatização, procurou-se definir taxas de acordo com a região climática, visto não ser possível ter esta informação para todos os municípios. Desta forma, foi consultado o trabalho de Oliveira (2017), no qual foi caracterizado o consumo de energia final de determinados municípios do país e, para alguns, indicada a percentagem utilizada para aquecimento e arrefecimento por combustível, preferencialmente à escala do município.

Foi então efetuada uma seleção de dados dos municípios a ser utilizados para a respetiva zona climática onde se inserem. Para os combustíveis gás natural, propano, butano e gasóleo de aquecimento não se encontra disponível nenhuma informação sobre o seu consumo para aquecimento a nível do município, pelo que foi necessário utilizar as percentagens nacionais, retiradas do ICESD (INE/DGEG, 2011), que correspondem respetivamente a 3%, 0.4%, 3% e 61%. Para a energia solar manteve-se o valor estimado para todas as zonas climáticas igualmente. A percentagem para esta forma de energia foi calculada utilizando o número de alojamentos, a fração de alojamentos que utiliza este tipo de energia e percentagem de consumo desta forma de energia utilizada para aquecimento, por alojamento, sendo que os últimos dois dados foram retirados igualmente do ICESD (INE/DGEG, 2011).

Para as restantes formas de energia foram utilizados dados dos municípios de Almada, Bragança, Cascais e Porto. As percentagens dos combustíveis utilizados para aquecimento e arrefecimento destes municípios foram então utilizadas para todos municípios inseridos na mesma zona climática. Não foi possível encontrar dados para a zona climática V3 I2, pelo que lhe foi atribuída a percentagem de energia utilizada para o arrefecimento respeitante a um município que se encontrasse na zona climática de verão V3, e para o aquecimento, referente a um município situado na zona climática de inverno I2. As percentagens da energia utilizada para climatização, por combustível, para as diferentes zonas podem ser observadas na Tabela 3.7.

Para a biomassa, apenas o valor relativo ao município de Bragança é proveniente da fonte referida. A percentagem deste combustível da zona V2 I2 e V3 I2 corresponde ao valor nacional, do ICESD (INE/DGEG) de 2011, e o valor de percentagem da zona V3 I1 e V2 I1 resultou da assunção de que a percentagem diminui quando os graus-dia da zona climática diminuem. Como para a zona climática I3, a zona com inverno mais severo, a percentagem de biomassa utilizada para aquecimento foi de 85%, calculou-se o decréscimo que ocorre em relação à zona I2, em

que a percentagem foi 51%. Essa percentagem de decréscimo foi então utilizada para determinar a percentagem dessas zonas climáticas.

Tabela 3.7 - Taxas de consumo de energia final para aquecimento e arrefecimento

% para Aquecimento(AQ) e Arrefecimento (AR)			Eletricidade		Biomassa
<i>Fonte:</i>	<i>Município</i>	<i>Zona Climática</i>	AQ	AR	AQ
AGENEAL (2011) - Estudos de Caracterização do Território Municipal	Almada	V3 I1	29%	4%	17%
Ferreira (2012)	Bragança	V2 I3	11%	1%	85%
Matriz energética de Cascais de 2010 – (Selfenergy, 2012)	Cascais	V2 I1	15%	2%	17%
Matriz energética do Porto de 2004 - AdePorto (2008)	Porto	V2 I2	15%	1%	51%
-	-	V3 I2	15%	4%	51%

Através da utilização destas quotas e do consumo doméstico dos combustíveis, obteve-se o consumo destinado à climatização de espaços, por combustível, para todos os municípios. Para se poder proceder a uma comparação destes consumos com as necessidades, era ainda necessário obter os consumos para as freguesias. Neste sentido, para todas as freguesias, foi determinada a área total dos alojamentos, multiplicando o valor da área de um alojamento de cada tipologia pelo respetivo número de alojamentos. Deste procedimento resultaram as áreas totais de cada tipologia. A soma dessas onze áreas perfaz a área total de todos os alojamentos de determinada freguesia. As áreas totais dos municípios foram também calculadas, somando os valores das áreas totais das respetivas freguesias que os constituem. Para conhecer o valor de consumo de uma freguesia procedeu-se à multiplicação do consumo de aquecimento e arrefecimento do município pela área total dos alojamentos da freguesia. O valor resultante foi dividido pela área total dos alojamentos do município, igualmente calculada. As expressões que caracterizam o procedimento genérico para uma determinada freguesia, podem ser consultadas na equação 20 e 21:

$$ATFreg = \sum_i A_i \cdot Aloj_i \quad [m^2] \quad (\text{equação 20})$$

Em que A_i representa a área média da tipologia i , $[m^2]$; e $Aloj_i$ representa o número de alojamentos da tipologia i .

$$CEFreg = \frac{CRMun.ATFreg}{ATMun} \quad [Joule] \quad (\text{equação 21})$$

Em que $CRMun$ corresponde ao consumo de aquecimento ou arrefecimento do município, [kWh/ano]; $ATFreg$ representa a área total de todos os alojamentos da freguesia. $ATMun$ corresponde à área total dos alojamentos do município.

Realizando o procedimento descrito, foram determinados os consumos de aquecimento e arrefecimento para todas as freguesias do país, o que possibilita a comparação destes consumos com as necessidades, visto encontrarem-se à mesma escala.

3.5.4 Determinação do *gap* de desempenho energético

O cálculo do *gap* entre as necessidades e os consumos efetivos de aquecimento e arrefecimento foi efetuado de forma idêntica à de Magalhães e Leal (2014). A expressão genérica para a determinação do *gap* de uma freguesia encontra-se representada na equação 22:

$$Gap = \left(\frac{Nc - CR}{Nc} \right) * 100 \quad (\text{equação 22})$$

Em que Nc representa as necessidades de aquecimento ou arrefecimento, [kWh/ano]; e CR corresponde ao consumo efetivo de aquecimento ou arrefecimento, [kWh/ano]. Foi igualmente determinado o *gap* entre os valores absolutos de necessidades e consumos, que resultou da diferença entre os dois valores.

3.5.5 Cenarização das necessidades de aquecimento e arrefecimento

É relevante destacar que as necessidades estimadas dizem respeito ao aquecimento e arrefecimento de 100% da área dos alojamentos, durante vinte e quatro horas do dia, para a duração das respetivas estações. Esta constitui a situação ideal de climatização das habitações. Porém, em Portugal, a climatização das habitações é realizada de forma distinta, quer seja devido aos diferentes hábitos das pessoas, quer seja devido às características dos sistemas de climatização existentes. Na grande maioria dos alojamentos neste país, o aquecimento e arrefecimento é geralmente efetuado em assoalhadas específicas, visto que a taxa de posse de sistemas de climatização central no país é reduzida. Ademais, a climatização decorre por um período consideravelmente mais reduzido do que as vinte e quatro horas. Por outro lado, o aquecimento e arrefecimento de apenas uma parte do alojamento e por um período de tempo mais reduzido não significa obrigatoriamente que os seus ocupantes se encontrem em algum momento em desconforto térmico (Magalhães, 2016). É válido assumir que os ocupantes podem estar em conforto térmico, não climatizando as suas habitações durante todo o dia e para a mesma temperatura de referência em todas as divisões, o que resultaria em necessidades energéticas mais moderadas (Magalhães, 2016). Por exemplo, durante o sono, o conforto térmico pode ser alcançado a menores temperaturas comparativamente às horas em uma

pessoa se encontra ativa, isto é, em condições de referência não tão exigentes (Leung e Ge, 2013; Magalhães, 2016).

Por conseguinte, procurou-se ajustar as necessidades, de modo a representarem de melhor forma a realidade portuguesa, e testar o efeito dessa alteração no valor calculado do *gap* térmico. Para o efeito, foi testada a redução da área aquecida e arrefecida e da duração de climatização, separadamente e com percentagem de decréscimo idêntica sistemática para todas as divisões administrativas.

Foram igualmente propostos dois cenários de redução, com variação combinada destes dois parâmetros, com a percentagem de redução a depender da zona climática. Em ambos os cenários foram consideradas maiores percentagens e tempo de climatização quanto maior fosse a severidade das zonas climática. Considera-se que uma zona climática de inverno é tanto mais severa quanto maior for a quantidade de graus-dia anuais que a caracteriza. No caso das zonas climáticas de verão, quanto maior for a sua temperatura exterior média, maior se considera ser a sua severidade. É importante realçar que durante o período e na área em que o alojamento é aquecido ou arrefecido são garantidas as condições de conforto térmico. Os cenários desenvolvidos são descritos de seguida.

3.5.5.1 Cenário “Conservador”

Neste cenário foi considerada uma área aquecida igual a 25% da área total do alojamento para a zona climática de inverno I1, 50% da área total para a zona I2 e 75% para a zona climática I3. Relativamente às horas de aquecimento, foi considerado um total de seis, dez e dezasseis horas, respetivamente, para a zona I1, I2 e I3. No que à estação de arrefecimento diz respeito, foi considerado um valor de área arrefecida igual a 25% da área total do alojamento e um período de 8 horas diárias de arrefecimento para a zona climática de verão V2. Para a zona climática V3, considerou-se que o arrefecimento se destinava a 50% da área total do alojamento e que se prolongava por 12 horas.

3.5.5.2 Cenário “Atual”

Para o cenário “Atual”, as condições do cenário “Conservador” são reduzidas para metade. Assim, foram considerados valores de área aquecida no alojamento correspondentes a percentagens de 12.5%, 25% e 37.5% da área total, e períodos diários de aquecimento de três, cinco e oito horas, para as zonas climáticas de inverno I1, I2 e I3 respetivamente. No que respeita ao arrefecimento, na zona V2, considerou-se uma área arrefecida igual a 12.5% da área total da habitação e uma duração do arrefecimento de 4 horas. Em relação à zona climática V3, considerou-se que 25% da área total era arrefecida, durante seis horas por dia.

3.6. Mapeamento dos resultados (Fase 3)

A última fase do trabalho consistiu na apresentação dos resultados obtidos. Foram utilizadas as *shapefiles* do mapa de Portugal continental e Regiões Autónomas da Madeira e Açores, da Carta

Administrativa Oficial de Portugal (CAOP), constituídas pelos polígonos das freguesias da mais recente organização administrativa do país. Estes ficheiros são disponibilizados pela Direção Geral do Território.

De forma a trabalhar estas *shapefiles*, foi utilizado o software *QGIS 2.8.3 Wien*. O procedimento consistiu na criação de novos campos, de tipo numérico, na tabela de atributos na *shapefile* de polígonos, através da ferramenta *MultiEdit*. Os códigos das freguesias nas *shapefiles* encontravam-se numa disposição diferente, pelo que se procedeu-se a uma adaptação dos dados dos resultados que se pretendem mapear, em adequação a estes códigos.

Após este procedimento, com recurso à folha de cálculo do *OpenOffice 1.1*, foram introduzidos os dados que se pretende mapear, de acordo com os códigos das freguesias das *shapefiles*. Cada conjunto de dados foi colocado num campo diferente da tabela de atributos. De seguida, para todos os conjuntos de dados, nas propriedades do ficheiro, foi efetuada uma gradação dos valores da tabela de atributos, ou seja, dos valores atribuídos aos polígonos, por cor, de forma a facilitar a sua observação no mapa. Para além dos dados correspondentes às necessidades, consumo efetivo e *gaps*, foram ainda mapeados dados utilizados no processo de determinação dos resultados, de forma a serem empregues na sua discussão.

4. Resultados e Discussão

A apresentação dos resultados divide-se em três secções distintas: necessidades, o consumo efetivo e os *gaps* para o conforto térmico calculados.

4.1. Necessidades de aquecimento e arrefecimento

Nesta secção é apresentado o mapeamento das necessidades e dos dados utilizados na sua determinação, relevantes para a discussão e compreensão dos resultados obtidos. São apresentadas as diferentes fases de cálculo das necessidades até à obtenção do mapa de energia final por ano, analisando os fatores que a vão moldando. São analisadas as necessidades de referência, que correspondem a um total de 24 horas diárias de climatização e a 100% da área dos alojamentos aquecida ou arrefecida.

4.1.1. Necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento

Na determinação das necessidades de aquecimento, existem dois fatores climáticos motrizes – os graus-dia anuais e a duração da estação de aquecimento. Procedeu-se ao mapeamento destes parâmetros de forma a analisar o seu efeito nas necessidades de aquecimento (Figura 4.1). O mapa dos graus-dia assume a mesma função da definição e mapeamento das zonas climáticas. No entanto, os valores de graus-dia por município permitem analisar mais detalhadamente as diferenças entre regiões e municípios, comparativamente aos mapas das zonas climáticas, onde esses dados são agregados.

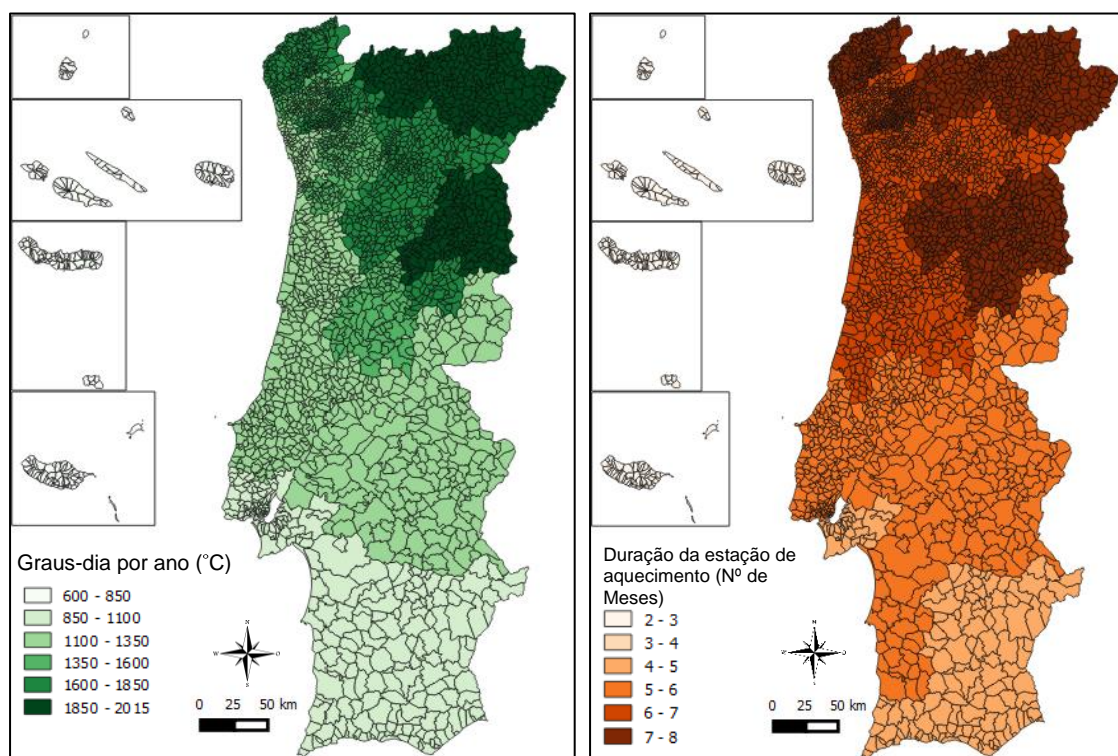


Figura 4.1 - Graus-dia anuais (esquerda) e duração da estação de aquecimento (direita) ao nível do município

A distribuição dos graus-dias anuais é semelhante à duração da estação de aquecimento, tal como se pode observar na Figura 4.1. No norte de Portugal continental, em particular no interior, verificam-se os maiores valores de graus-dias e as maiores durações da estação de aquecimento, enquanto no Sul, particularmente no Algarve, Baixo Alentejo e Área Metropolitana de Lisboa, e nas Regiões Autónomas registam-se os valores mais reduzidos.

Os graus-dia anuais suportam o cálculo dos diferentes tipos de perdas de calor pois representam a diferença entre as temperaturas exteriores e a temperatura de referência que se pretende obter. Assim, quanto maior for o valor de graus-dia anuais, maior é essa diferença e a transmissão de calor. Assim, maiores valores de perdas de calor traduzem-se em maiores necessidades de aquecimento. Por outro lado, a duração da estação de aquecimento é utilizada para o cálculo dos ganhos térmicos internos e solares, que, por sua vez, estão inversamente correlacionados com as necessidades de aquecimento. Os ganhos térmicos internos resultam de fontes internas de calor de um alojamento e estão diretamente correlacionados com a duração da estação de aquecimento, no sentido em que quanto maior for a duração, maior será o valor dos ganhos térmicos. O mesmo se aplica aos ganhos térmicos solares. Assim, quanto maior for a duração da estação, menor serão as necessidades de aquecimento.

No que diz respeito às necessidades nominais de energia útil de arrefecimento, o fator climático mais significativo é a temperatura média exterior, visto ser um dos parâmetros utilizados na determinação da transferência de calor por transmissão e ventilação. Quanto maior for a diferença entre a temperatura média exterior e a temperatura interior de referência, maiores serão estas perdas de calor. Para o arrefecimento, no caso de serem positivas (energia térmica a entrar e não a sair do alojamento), os ganhos térmicos estão correlacionados positivamente com as necessidades de energia útil de arrefecimento. As transferências de calor têm, por sua vez, uma relação inversa com estas necessidades. Assim, quanto maiores forem os ganhos e menores as transferências de energia térmica para o exterior, mais elevadas são as necessidades de arrefecimento. A duração da estação de arrefecimento é utilizada na determinação das transferências de calor e dos ganhos térmico internos e é a mesma para todo o país, não constituindo por isso um fator diferenciador das necessidades nos diferentes municípios.

O mapa com a distribuição das temperaturas exteriores médias pode ser observado na Figura 4.2. As temperaturas mais elevadas ocorrem no interior centro e sul do país, na parte interior da Beira Baixa, e também no Ribatejo e Algarve. A Região Autónoma da Madeira, o litoral Centro e norte e a zona da Serra da Estrela são as zonas com as temperaturas exteriores médias mais reduzidas. Como a temperatura de referência é 25°C, quanto mais próximas desse valor forem as temperaturas exteriores, maiores serão as necessidades de arrefecimento.

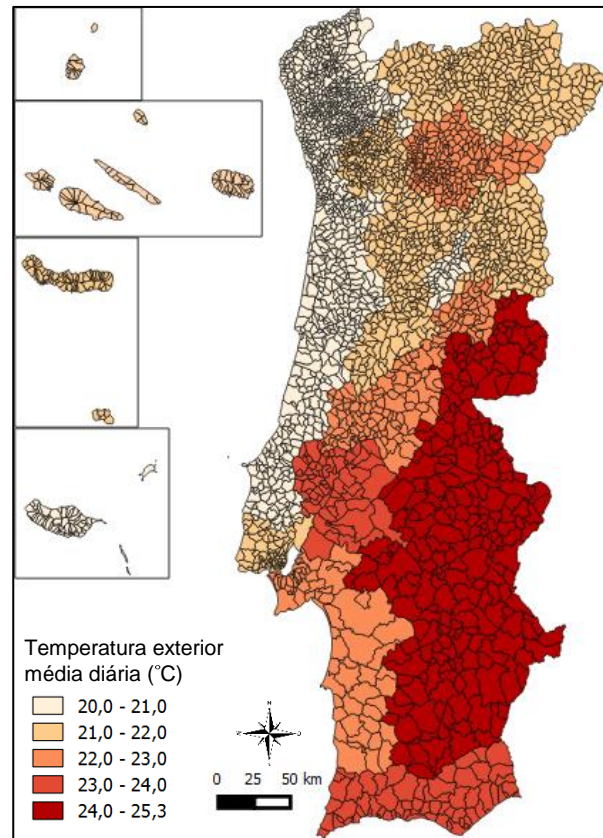


Figura 4.2 - Temperatura exterior média diária na estação de arrefecimento (°C)

Os mapas das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento podem ser observados na Figura 4.3. No que respeita à distribuição das necessidades nominais de energia útil para aquecimento, verifica-se que é no norte de Portugal, e em especial no Nordeste, que as necessidades assumem valores mais consideráveis, decrescendo gradualmente em direção ao sul do país. É possível observar que a distribuição da magnitude dos maiores valores de necessidades é idêntica à do número de graus-dias anuais. A duração da estação de aquecimento apresenta igualmente uma distribuição relativamente semelhante às necessidades. Tendo em conta os diferentes efeitos que estes dois parâmetros têm no cálculo das necessidades, verifica-se que o número de graus-dia anuais tem maior influência na distribuição das necessidades de energia útil para aquecimento. Destacam-se as regiões NUTS III Beiras e Serra da Estrela e Terras de Trás-os-Montes, que possuem as maiores necessidades de energia útil para aquecimento e, do outro lado do espectro, praticamente todo o litoral de Portugal, a área metropolitana de Lisboa, o baixo Alentejo, Algarve e Regiões Autónomas, onde é necessária menor quantidade de energia térmica nominal para aquecimento. Os valores de necessidades de energia útil dispostas neste mapa resultam da média das onze tipologias de edifício analisadas, cada uma definida pelos seus parâmetros. Nesta fase, os resultados das necessidades são iguais para todas as freguesias dentro do mesmo município, visto que os dados climáticos estão definidos por município, os parâmetros das tipologias por região e ainda não terem sido utilizados nenhuns parâmetros que se distingam ao nível da freguesia.

É relevante referir que as perdas de calor gerais se encontram subestimadas, na medida em que não foram tidas em conta no seu cálculo, por falta de dados, a transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes e através de elementos em contacto com o solo. Isto resulta igualmente numa subestimação do valor das necessidades obtidas. O mesmo efeito tem a não contabilização, igualmente por indisponibilidade de dados, das pontes térmicas do edifício (zonas com resistência térmica inferior à envolvente), na determinação das perdas de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior e através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis.

O mapa das necessidades de energia útil para arrefecimento permite comprovar que a variação destas necessidades é muito semelhante à variação das temperaturas médias exteriores. As regiões em que as necessidades são mais consideráveis são praticamente as mesmas regiões cujas temperaturas exteriores são mais elevadas e próximas da temperatura interior de referência. Este é um fator chave na definição das necessidades de energia útil nominais de arrefecimento.

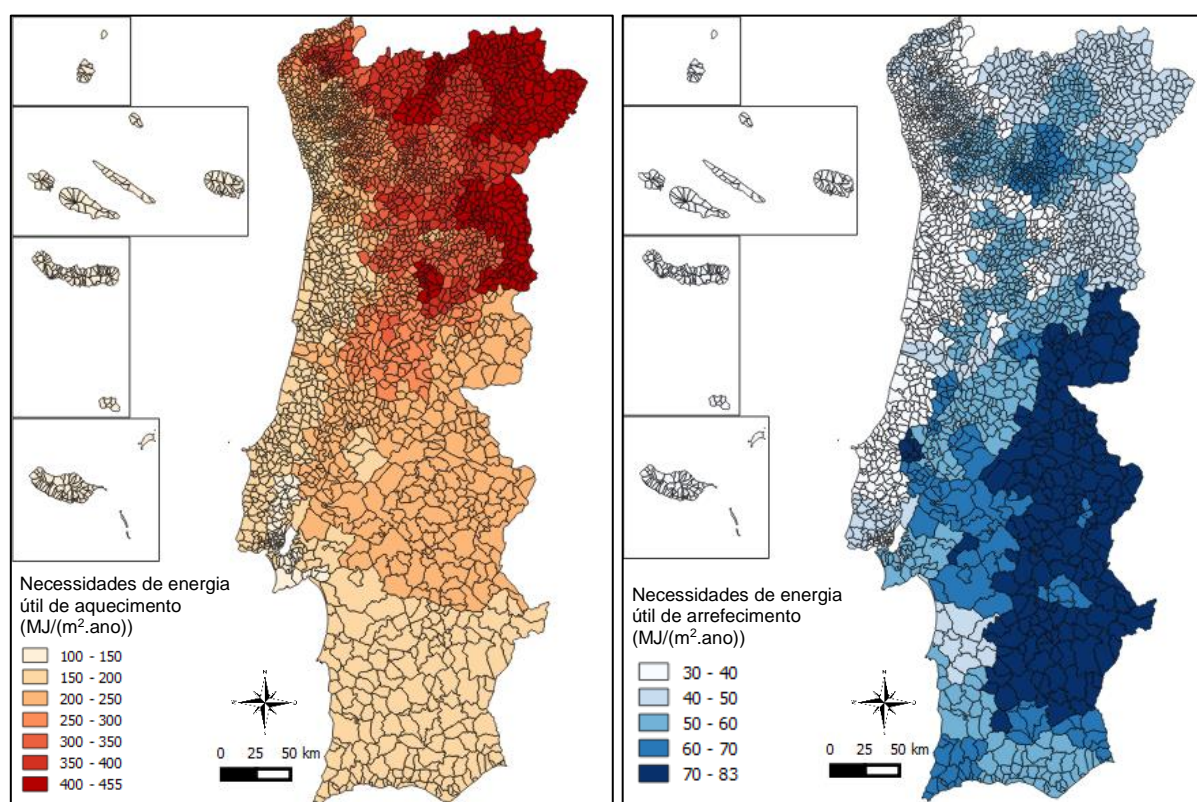


Figura 4.3 - Necessidades anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento por alojamento e unidade de área, por freguesia (MJ/(m².ano))

Nas Figuras 4.4 e 4.5 observam-se, respetivamente, as necessidades anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, por unidade de área (m²) e alojamento, e por tipologia e zona climática. Estes valores são definidos pelos valores dos parâmetros construtivos estabelecidos por região do país, pelos graus-dias na estação de aquecimento e temperaturas médias exteriores para o arrefecimento. Como esperado, verifica-se que as tipologias nas zonas climáticas de inverno mais severas (em particular a I3) têm maiores valores de necessidades de

energia útil para aquecimento. O mesmo sucede para as tipologias em zonas V3, no caso das necessidades para arrefecimento.

Na Figura 4.6 é apresentada a média nacional das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento para as várias tipologias. Verifica-se principalmente na energia para aquecimento que as tipologias mais recentes, já abrangidas pelo RCCTE, registam valores mais reduzidos de necessidades, devido aos parâmetros construtivos mais eficientes.

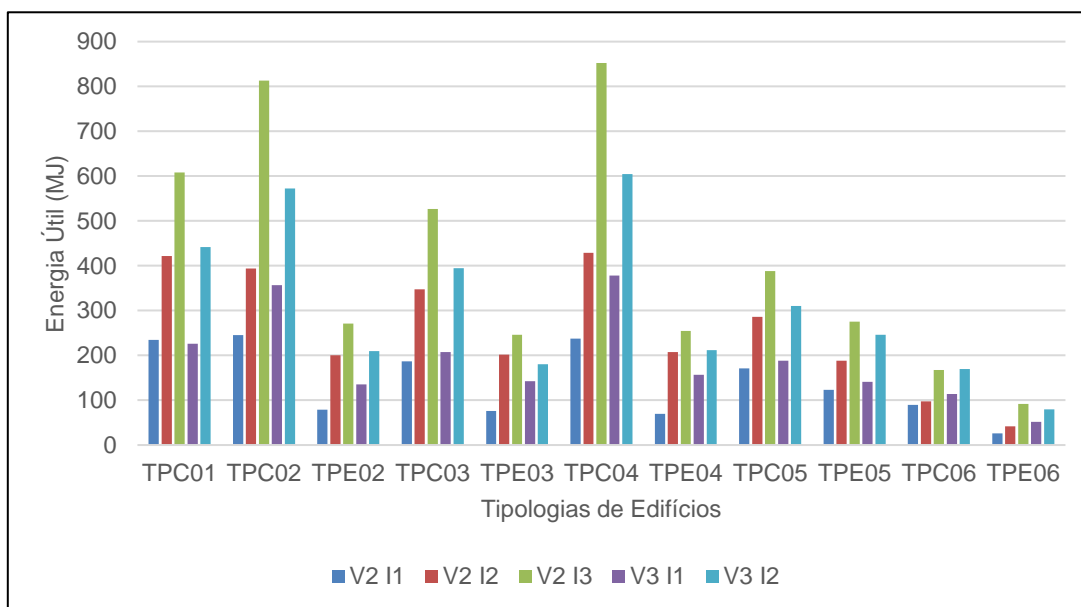


Figura 4.4 - Necessidades de energia útil para aquecimento por alojamento, para as tipologia em cada zona climática (MJ/(m². ano))

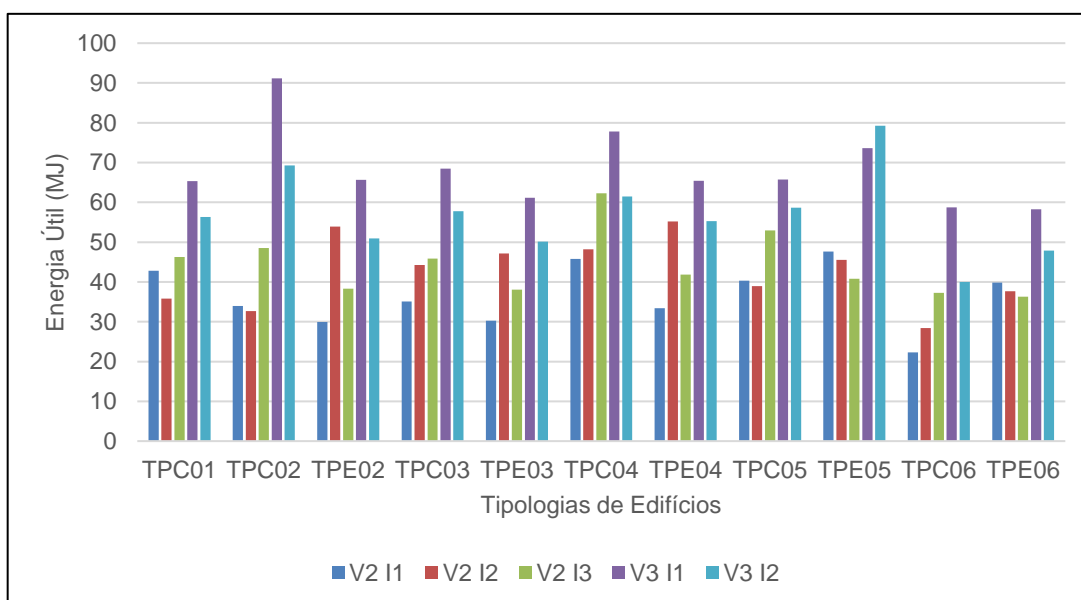


Figura 4.5 - Necessidades de energia útil para arrefecimento, por alojamento, das tipologias em cada zona climática (MJ/(m². ano))

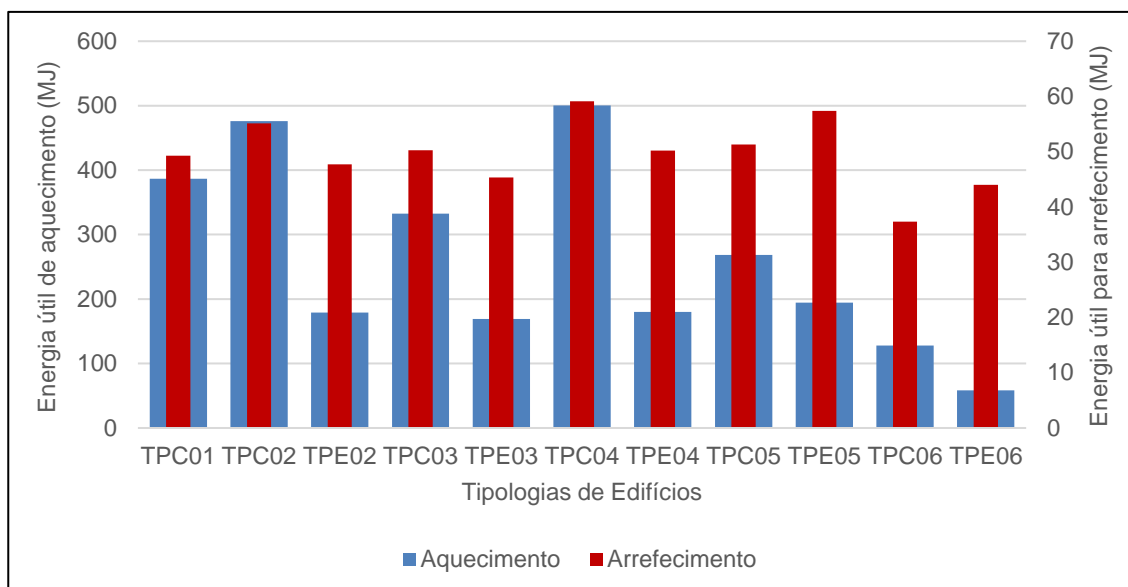


Figura 4.6 - Média nacional das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento, por alojamento, para as tipologias consideradas (MJ/(m².ano))

No procedimento seguinte, foram consideradas as áreas das tipologias. O mapeamento da área média de um alojamento das várias tipologias pode ser observado no Anexo B. Através desse mapa, verifica-se que a área média de um alojamento das tipologias definidas para as regiões no norte e centro de Portugal é superior à do sul e Regiões Autónomas. Recorde-se que os valores das áreas das tipologias estão sempre sujeitos a erro pois foram estimados a partir da média de uma família de edifícios considerada representativa de cada região, no trabalho de Lopes (2010). Para as novas tipologias, estas estimativas são mais imprecisas pois, devido à falta de informação sobre esses edifícios, foram adotados os mesmos valores de tipologias semelhantes, mas de outras datas de construção.

Ao multiplicar as necessidades de cada tipologia pela respetiva área, que corresponde à área total aquecida, obtiveram-se as necessidades anuais de energia útil por alojamento de cada tipologia. Ao observar o mapa destas necessidades de aquecimento, ilustrado na Figura 4.7, verifica-se que a distribuição das necessidades não se alterou profundamente com este procedimento, sendo que as necessidades mais significativas ocorrem no norte e centro do país, excetuando o litoral. Destacaram-se em particular duas regiões com as mais elevadas necessidades de energia útil para aquecimento - Alto Tâmega e Beiras e Serra da Estrela. Isto deve-se às áreas elevadas das tipologias consideradas para essas regiões. É possível discernir, no mapa das áreas, uma zona a negro, que parte da zona da Serra da Estrela para sul, até à região do Oeste e Lezíria do Tejo. Esta zona possui as médias de áreas mais significativas, o que se reflete em maiores necessidades de aquecimento também nessas zonas.

Relativamente às necessidades de arrefecimento, ilustradas igualmente na Figura 4.7, a alteração do mapa é mais significativa. Como as áreas teoricamente arrefecidas das tipologias no Alentejo e sul de Portugal são, no geral, menores, após a sua consideração, as necessidades de energia útil para arrefecimento no Baixo Alentejo, Alentejo Central, Algarve e Lezíria do Tejo

já não se englobam no grupo das regiões com maiores necessidades. Neste mapa identificam-se como as regiões com maiores necessidades partes específicas da Beira Baixa e do Alto Alentejo, em primeira instância, e também as regiões do Alto Tâmega e Douro no norte, e zonas na proximidade de Coimbra e da região Dão Lafões, no centro do país

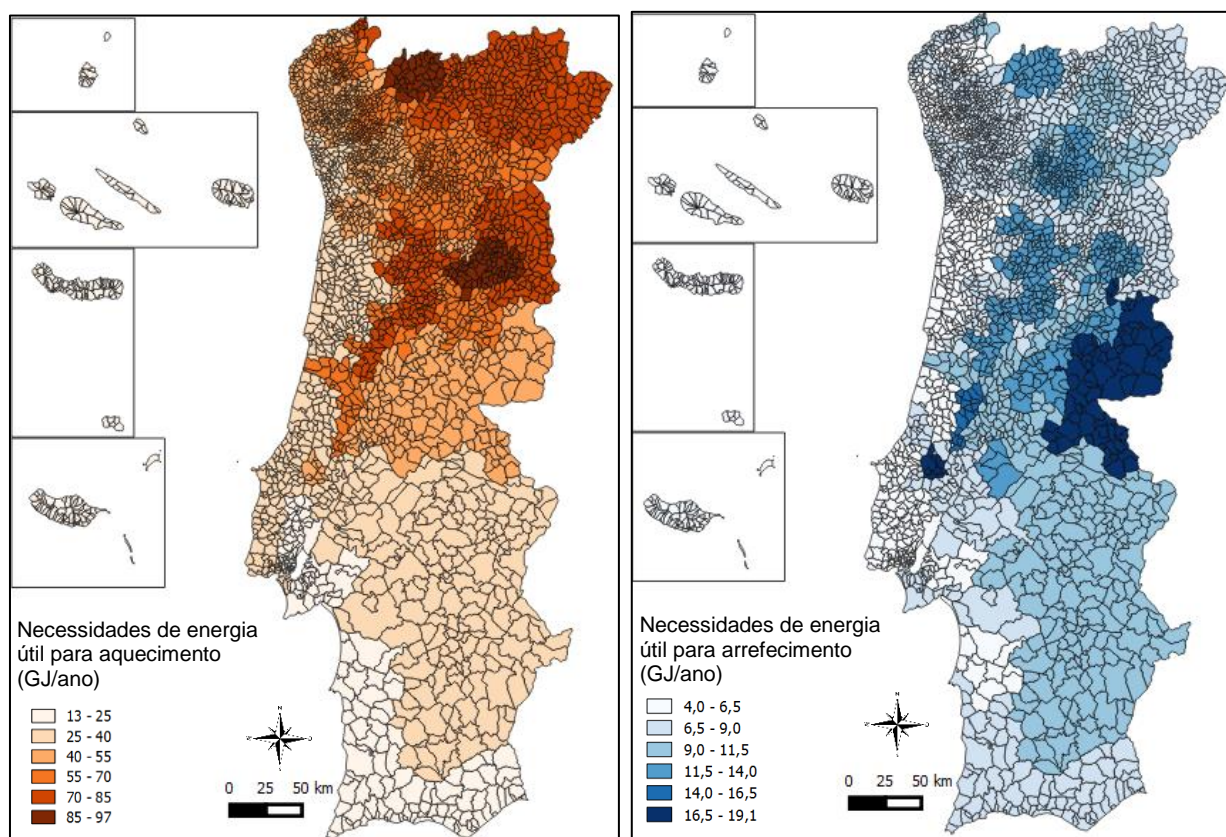


Figura 4.7 – Necessidades anuais de energia útil para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) por alojamento e por freguesia (GJ/ano)

De seguida, foi considerado o número de alojamentos das tipologias para a determinação das necessidades anuais de energia útil totais por freguesia do país. Os mapas do número de alojamentos calculados para cada uma das tipologias de edifícios criadas estão disponíveis no Anexo C. Cada mapa dos alojamentos tem a sua própria escala devido às diferenças significativas nas ordens de grandeza do número de alojamentos das diferentes tipologias.

A inclusão do número de alojamentos altera de forma significativa a distribuição espacial das necessidades de energia útil. Com este novo parâmetro, uma freguesia poderá ter necessidades nominais de energia útil para climatização superiores a outra, mas se a última tiver um maior número de alojamentos, as suas necessidades poderão ser superiores.

A Figura 4.8 ilustra o mapa das necessidades anuais de energia útil de aquecimento. Verifica-se que é nas grandes zonas urbanas, como as áreas metropolitanas de Lisboa e Porto, que existem os valores de necessidades de energia útil para aquecimento mais significativos. Em Lisboa, esses valores são mais consideráveis nas freguesias situadas na periferia destas cidades, ou por outras palavras, nos subúrbios. Como é possível depreender dos mapas que ilustram o

número dos alojamentos, existe nestas freguesias um substancial número de alojamentos de praticamente todas as tipologias, excetuando as tipologias que correspondem a edifícios de período de construção mais antigo, como os prédios de data de construção anterior a 1919 e de 1919 a 1945. Por consequência, as necessidades de aquecimento assumem valores superiores.

As freguesias localizadas no centro de Lisboa não apresentam necessidades de energia útil para aquecimento tão elevadas pois são de menor dimensão, não possuindo um elevado número de alojamentos, em comparação com as freguesias situadas na periferia da cidade, dos municípios da Amadora, Sintra, Cascais e Almada. Apesar de possuírem um número de alojamentos consideráveis, no que respeita a todas as tipologias de edifício do tipo “prédio”, existe nestas freguesias lisboetas um reduzido número de alojamentos de tipologias referentes ao tipo de edifício “casa”. Este facto resulta em valores mais reduzidos de necessidades, tendo em conta que os alojamentos do tipo “casa” têm necessidades de aquecimento elevadas, devido às suas áreas.

No Porto, a situação assemelha-se à de Lisboa, contudo com algumas distinções. Observa-se que as freguesias com maiores necessidades se localizam fora do centro histórico, fora até do município do Porto. Freguesias pertencentes aos municípios de Matosinhos, Gondomar e Vila Nova de Gaia apresentam valores superiores de necessidades de energia útil, devido ao maior número de alojamentos de tipologias de casa, com data de construção posterior a 1960. As freguesias do município do Porto, comparativamente às de Lisboa, têm associados valores de necessidades de energia útil para aquecimento mais significativos, na ordem dos 235 a 410 TJ por ano, enquanto todas freguesias lisboetas apresentam valores inferiores a 150 TJ anuais, apesar do valor das necessidades de energia útil por alojamento das freguesias dos dois municípios ser mais próximo. A justificação para esta particularidade reside no facto de o município de Lisboa se encontrar dividido num número substancialmente superior de freguesias do que o Porto, e assim, apesar de ter mais do dobro dos alojamentos, o número de alojamentos de cada uma das suas freguesias individualmente é inferior ao das freguesias portuenses, resultando no mapeamento das freguesias do Porto numa categoria superior de necessidades.

Algumas freguesias possuem elevadas necessidades mesmo sem ter um número considerável de alojamentos, como a freguesia da Guarda. Isto deve-se ao valor intrínseco elevado de necessidades, decorrente da zona climática em que se insere, permitindo equiparar as suas necessidades com as de freguesias com maior número de alojamentos.

Se se observar o mapa das necessidades de energia útil de arrefecimento, também disposto na Figura 4.8, verifica-se uma semelhança com o mapa das necessidades de energia útil para aquecimento, o que reforça a ideia de que o número de alojamentos constitui o parâmetro que se sobrepõe a qualquer outro. Estes mapas de energia útil por ano não constituem a ferramenta mais indicada para a comparação entre as necessidades de freguesias distintas, pois mascara o efeito de outros parâmetros que fazem variar as necessidades. Além disso, pode ainda mascarar freguesias que têm elevadas necessidades nominais de energia útil para climatização por alojamento, mas por contabilizarem um reduzido número de alojamentos, não se destacam

no mapa. Para se efetuarem comparações, deve ser utilizado o mapa de energia útil por alojamento.

Os valores totais de energia útil por ano para aquecimento e arrefecimento correspondem, respetivamente a 148 100 e 30 917 TJ. Comparativamente aos valores estimados por Magalhães e Leal (2014) para os alojamentos de residência habitual, 291 758 e 21 938 TJ por ano respetivamente para aquecimento e arrefecimento, verifica-se que o valor de energia útil anual para o aquecimento é aproximadamente metade, o que poderá estar relacionado com o facto de Magalhães e Leal (2014) terem utilizado o antigo regulamento de desempenho energético nos seus cálculos. Este antigo regulamento define como temperatura interior de referência 20°C, ao invés do 18°C definidos no REH. Isto resulta em valores superiores de graus-dia e consequentemente de necessidades de energia útil. Os valores de energia útil de arrefecimento nos dois trabalhos são, desta feita, mais próximos, visto que a temperatura interior de referência para estação de arrefecimento não foi alterada.

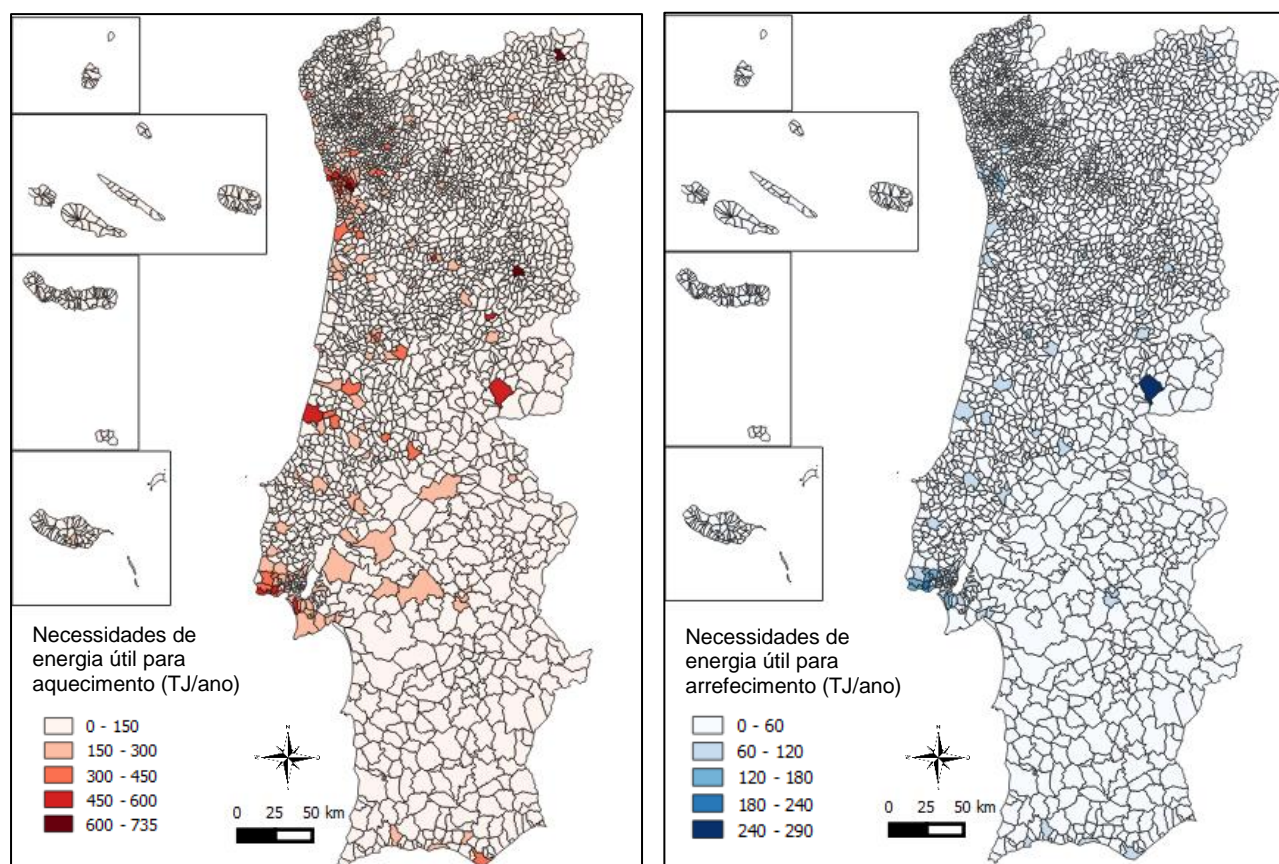


Figura 4.8 – Necessidades anuais de energia útil para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) por ano e por freguesia (TJ/ano)

4.1.2. Necessidades de energia final para aquecimento e arrefecimento

Procedeu-se igualmente à determinação das necessidades de energia final de aquecimento e arrefecimento. Nesse sentido, foram utilizadas as taxas de posse de diferentes equipamentos de aquecimento e arrefecimento. Quando se pretende estimar as necessidades de energia final, o método de utilização de taxas de posse de equipamentos é várias vezes utilizado, como nos

estudos de Jakubcionis e Carlsson (2017) e dos projetos Stratego (Möller, 2015) e ClimAdaPT.local (Simões *et al.*, 2015). Este procedimento tem, no entanto, algumas limitações, particularmente porque se considera que só por um equipamento existir num alojamento, isso significa que é utilizado, o que por vezes não corresponde à realidade.

Por outro lado, assume-se que todos os alojamentos têm algum equipamento de climatização, o que faz sentido, mesmo que não seja o caso, pois pretende-se determinar as necessidades de energia final de todos os alojamentos ocupados residenciais em Portugal. Esta é a forma de se considerar todos esses alojamentos no cálculo. Contudo, existindo uma parte dos alojamentos que não possui nenhum equipamento de climatização, é necessário assumir que possuem um tipo de equipamento particular, com a sua eficiência específica. Neste sentido, foi assumido que as proporções dos equipamentos nos alojamentos que possuem algum equipamento seriam as mesmas para todos os alojamentos do país. As taxas de posse utilizadas podem ser consultadas no Anexo D. As taxas de posse de equipamento apresentadas dizem respeito apenas a equipamentos para aquecimento, visto não estarem disponíveis dados das taxas de posse de equipamentos de arrefecimento, discriminados por freguesia.

A sequência de cálculos e apresentação dos mapas é semelhante à das necessidades de energia útil. Foram calculadas, em primeiro lugar, as necessidades anuais de energia final sem considerar as áreas das tipologias, ou seja, por m² de área e por alojamento, e depois considerando esses dois parâmetros igualmente. Os valores de energia final de cada freguesia no mapa resultante consistem na média entre os valores das onze tipologias.

Analisando o mapa das necessidades anuais de energia final para aquecimento por alojamento e unidade de área, ilustrado na Figura 4.9, verifica-se que as necessidades de energia final mais significativas estão associadas às freguesias situadas no interior da região norte do país, particularmente nas regiões Terras de Trás-os-Montes, Douro, e Alto Tâmega, onde são frequentes valores anuais superiores a 1000 MJ. Algumas freguesias da região centro do país, pertencentes à região Beiras e Serra da Estrela, apresentam igualmente necessidades consideráveis, entre 800 e 1200 MJ anuais. Através dos mapas das taxas de posse de equipamentos de aquecimento, observa-se que nestas regiões, a taxa de posse de lareiras abertas é superior a 60% em praticamente todas as freguesias destas regiões, principalmente nos edifícios do tipo “*vivenda*”, ao contrário das outras regiões do país. São exceção algumas freguesias no Baixo Alentejo e nas regiões Médio Alentejo e Coimbra, onde, em grande parte dos alojamentos, também existe este tipo de lareira. Nos prédios, valores elevados de taxas de posse destas lareiras são menos frequentes, verificando-se, no entanto, principalmente em freguesias destas regiões. Este equipamento apresenta uma eficiência de apenas 35%, a mais reduzida de todos os equipamentos considerados. Quanto menor for a eficiência do equipamento, maior quantidade de energia final será necessária para fornecer determinada quantidade de energia útil. Para além disto, as regiões em questão já apresentavam os maiores valores de necessidades de energia útil por metro quadrado, pelo que esta realidade mantém-se no que à energia final diz respeito, aumentando a diferença para as outras regiões. As regiões do Médio Tejo e de Coimbra apresentam também necessidades de valor substancial, na ordem

dos 800 a 1200 MJ, que se explica igualmente pela ocorrência de elevadas taxas de posse de lareiras com recuperadores de calor, no tipo de edifício “vivenda”.

As áreas metropolitanas de Lisboa e Porto, o Algarve, as Regiões Autónomas das Madeira e Açores e parte do Alto Alentejo apresentam das necessidades de energia final mais reduzidas do país, com valores entre 70 e 300 MJ anuais por metro quadrado de alojamento. A razão prende-se com o facto de nos alojamentos das freguesias destas regiões predominarem os equipamentos elétricos, como pode ser comprovado pelos mapas de taxas de posse (Anexo D). Estes equipamentos elétricos possuem uma eficiência elevada, cerca de 99%, e consequentemente a quantidade de energia final necessária não é de grande proporção. No Baixo Alentejo, algumas freguesias também possuem consideráveis taxas de posse de equipamentos elétricos. Porém, como uma parte substancial dos alojamentos das freguesias desta região utilizam lareira aberta, os valores de energia final acabam por ser superiores. Destacam-se as reduzidas taxas de posse de equipamentos de aquecimento central, de qualquer combustível, facto que indicia que o aquecimento no país é provavelmente efetuado de forma localizada no alojamento, raramente se procedendo à climatização da totalidade da habitação. Verifica-se que a taxa de posse das bombas de calor é já significativa, em determinadas freguesias, distribuídas por todas as regiões do país, o que corresponde a um investimento num sistema de aquecimento mais eficiente. Relativamente às necessidades de energia final de arrefecimento, cujo mapa pode ser consultado na Figura 4.9, como teve de ser utilizada a taxa de posse de equipamentos nacional para todas as freguesias, por indisponibilidade de dados com maior detalhe, a sua distribuição é igual à distribuição das necessidades de energia útil nominais por metro quadrado e por alojamento, utilizadas para o seu cálculo.

Considerou-se, de seguida, as áreas das tipologias na estimativa das necessidades de energia final. O mapa das necessidades anuais de energia final para aquecimento, por alojamento, pode ser consultado na Figura 4.10. Verifica-se novamente uma diferença entre as necessidades para aquecimento no norte e centro interior do país e a região litoral e sul, tal como acontece no mapa das necessidades de energia útil. Observa-se uma concentração ligeiramente mais densa de freguesias com as necessidades mais elevadas (entre 218 e 264 GJ/ano, por alojamento), na região central Beiras e Serra da Estrela e Viseu Dão Lafões e na região nortenha Alto Tâmega, comparativamente ao norte interior do país. Isto deve-se à ocorrência, nestas regiões, de taxas de posse dos equipamentos de aquecimento com menor eficiência e médias das áreas das tipologias consideravelmente elevadas. No norte interior, a média das áreas das tipologias é ligeiramente inferior, o que resulta numa menor concentração de freguesias com necessidades na ordem dos 200 GJ anuais por alojamento.

A distribuição espacial das necessidades de energia final de arrefecimento (Figura 4.10) é semelhante ao das necessidades anuais de energia útil por alojamento. O destaque vai para a região da Beira Baixa, particularmente o distrito de Castelo Branco, onde se verificam os maiores valores de necessidades. As freguesias das regiões do Alentejo e Ribatejo apresentam necessidades de arrefecimento menos significativas, tal como já tinha sucedido.

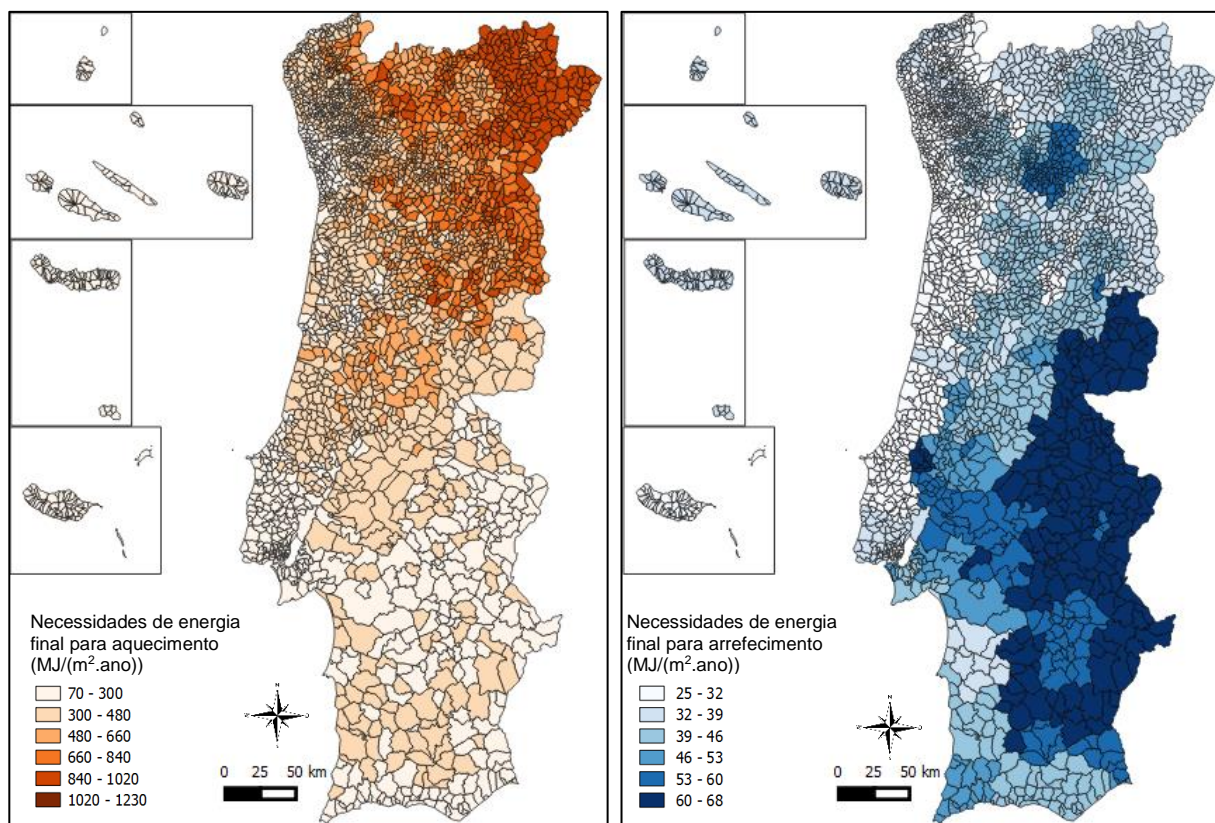


Figura 4.9 - Necessidades anuais de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por unidade de área e alojamento, por freguesia (MJ/(m².ano))

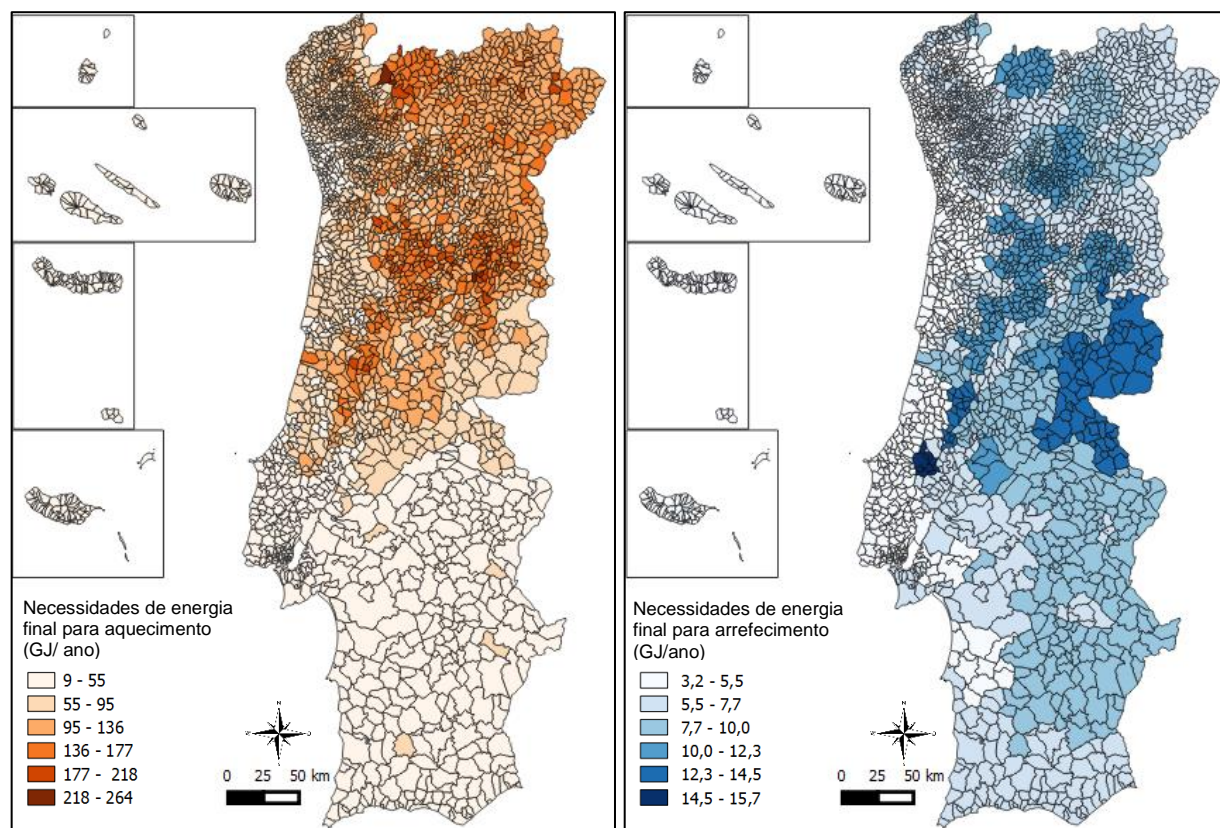


Figura 4.10 - Necessidades anuais de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) por alojamento, por freguesia (GJ/ano)

Com os dados de necessidades de energia final por alojamento, e utilizando novamente os dados do número dos alojamentos por tipologia, foram calculadas as necessidades anuais de energia final. Como é possível observar na Figura 4.11, o efeito deste parâmetro é semelhante ao verificado na distribuição das necessidades anuais de energia útil, com os maiores valores de necessidades a corresponderem às freguesias com maior número de alojamentos. O número de alojamentos tem uma maior influência na distribuição das necessidades que as taxas de posse de equipamentos, embora, no caso das necessidades de aquecimento, estas taxas permitam que freguesias com menor número de alojamentos, mas como taxas elevadas de equipamentos pouco eficientes, tenham necessidades do mesmo nível que outras em que o número de alojamentos é mais elevado. No caso das necessidades de arrefecimento, esta situação não sucede, pois as taxas de posse utilizadas são as mesmas para todas as freguesias, correspondendo às proporções nacionais. Na Tabela 4.1 pode ser consultado o *top 20* das freguesias com maiores necessidades de energia final para aquecimento e arrefecimento.

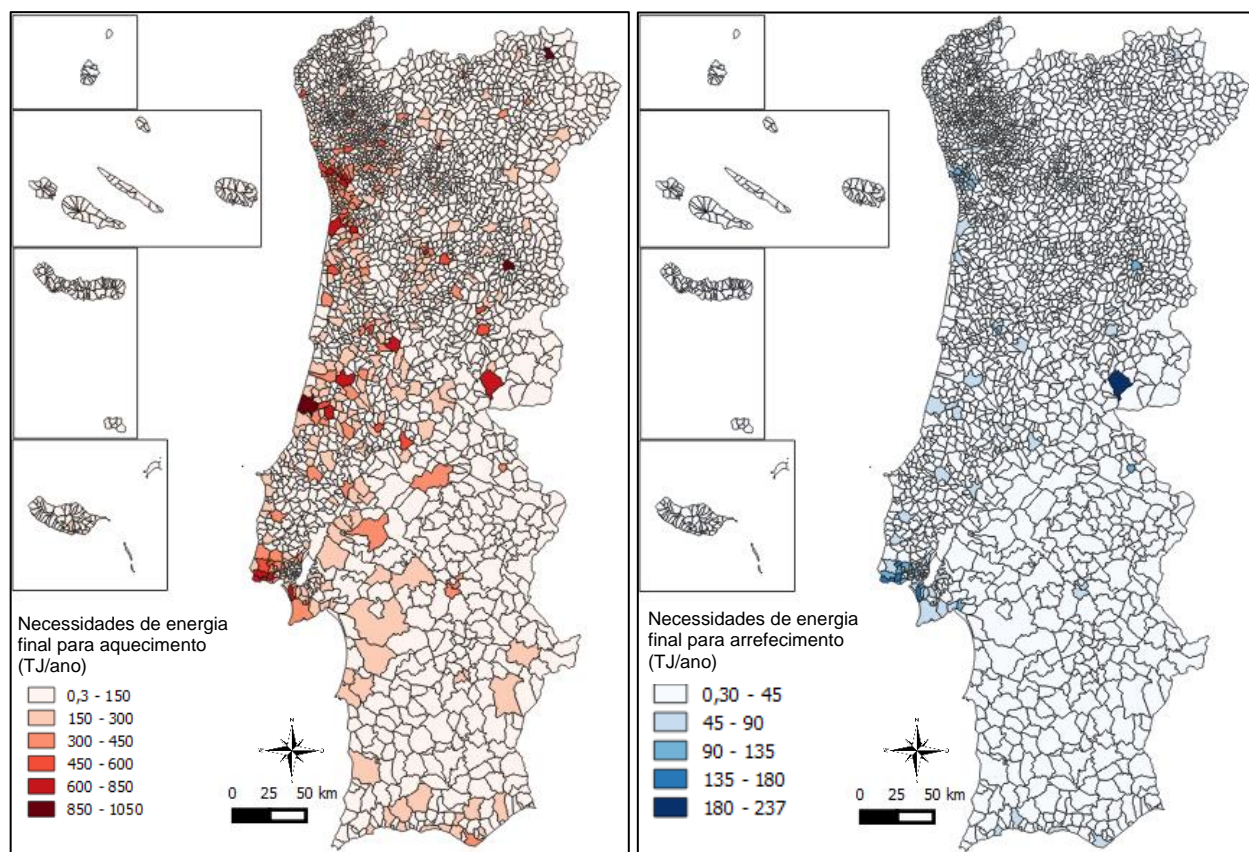


Figura 4.11 - Necessidades anuais de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por freguesia (TJ/ano)

Tabela 4.1 - Top 20 das freguesias de acordo com as necessidades de energia final de aquecimento e arrefecimento

Município	Freguesia	Necessidades de energia final para arrefecimento (TJ/ano)	Top de Freguesias	Necessidades de energia final para aquecimento (TJ/ano)	Freguesia	Município
Castelo Branco	Castelo Branco	237	1º	1042	Marinha Grande	Marinha Grande
Cascais	São Domingos de Rana	149	2º	1039	União das Freguesias de Sé, Santa Maria e Mexedo	Bragança
Cascais	União das Freguesias de Cascais e Estoril	145	3º	1021	Guarda	Guarda
Almada	União das Freguesias da Charneca da Caparica e Sobreda	144	4º	785	União das Freguesias de Viseu	Viseu
Sintra	Algueirão-Mem Martins	140	5º	785	Castelo Branco	Castelo Branco
Cascais	União das Freguesias de Carcavelos e Parede	124	6º	780	União das Freguesias de Gondomar (São Cosme), Valbom e Jovim	Gondomar
Oeiras	União das Freguesias de Oeiras e São Julião da Barra, Paços de Arcos e Caxias	122	7º	775	São Domingos de Rana	Cascais
Sintra	União das Freguesias de Queluz e Belas	118	8º	738	União das Freguesias da Charneca da Caparica e Sobreda	Almada
Sintra	Rio de Mouro	110	9º	720	Pombal	Pombal
Almada	União das Freguesias de Almada, Cova da Piedade, Pragal e Cacilhas	109	10º	708	União das Freguesias de Ovar, São João, Arada e São Vicente de Pereira Jusã	Ovar
Viseu	União das Freguesias de Viseu	103	11º	679	União das Freguesias de Custóias, Leça do Balio e Guifões	Matosinhos
Coimbra	Santo António dos Olivais	101	12º	653	União das Freguesias de Cascais e Estoril	Cascais
Cascais	Alcabideche	101	13º	649	União das Freguesias de Lousã e Vilarinho	Lousã
Oeiras	União das Freguesias de Algés, Linda-a-Velha e Cruz Quebrada-Dafundo	99	14º	635	União das Freguesias de Fânzeres e São Pedro da Cova	Gondomar
Sintra	União das Freguesias de Massamá e Monte Abraão	99	15º	632	União das Freguesias de Leiria, Pousos, Barreira e Cortes	Leiria
Gondomar	União das Freguesias de Gondomar (São Cosme), Valbom e Jovim	99	16º	631	Rio Tinto	Gondomar
Gondomar	Rio Tinto	99	17º	625	União das Freguesias de Oliveira de Azeméis, Santiafo de Riba-Ul, Machinata de Seixa e Madail	Oliveira de Azeméis
Vila Nova de Gaia	União das Freguesias de Mafamude e Vilar do Paraíso	96	18º	607	Alcabideche	Cascais
Portalegre	União das Freguesias de Sé e São Lourenço	96	19º	600	União das Freguesias de Vila Real (Nossa Senhora da Conceição, São Pedro e São Dinis)	Vila Real
Matosinhos	União das Freguesias de São Mamede de Infesta e Senhora da Hora	96	20º	592	União das Freguesias de Matosinhos e Leça da Palmeira	Matosinhos

4.2. Consumo efetivo para aquecimento e arrefecimento

O consumo efetivo de energia final por freguesia foi estimado a partir dos consumos de energia final dos combustíveis ou formas de energia utilizados no setor doméstico. Na Figura 4.12 é apresentado o mapa do total dos consumos de energia final no setor doméstico, utilizados posteriormente na determinação dos consumos para fins de climatização.

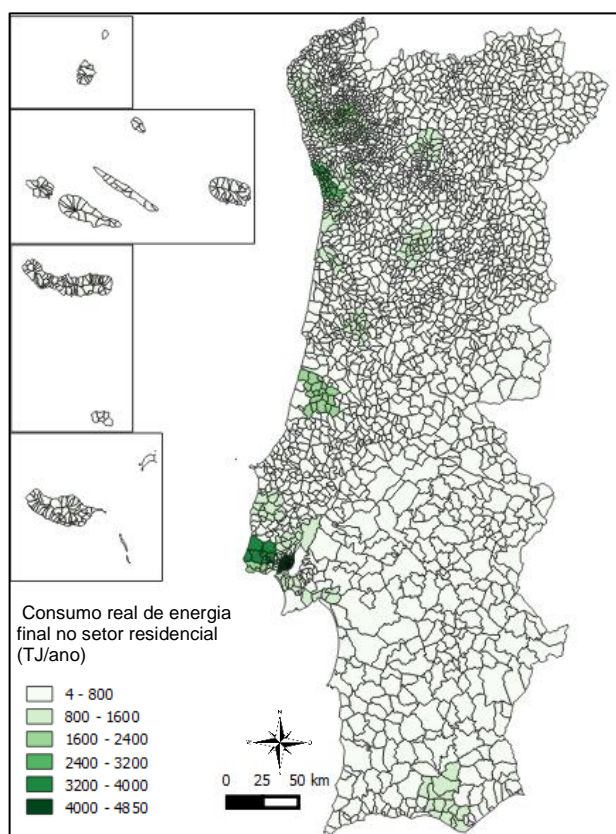


Figura 4.12 - Consumo anual efetivo de energia final no setor residencial (TJ/ano) por município

Foram considerados os consumos de eletricidade, gás natural, gás propano, gás butano, gasóleo para aquecimento, biomassa e energia solar para aquecimento e apenas eletricidade para o arrefecimento. Os maiores consumos de energia final verificam-se nas regiões metropolitanas de Lisboa e Porto e em Leiria e Braga, ou seja, centros urbanos com populações e número de alojamentos consideráveis. Os dados de consumo do mapa estão detalhados ao nível do município.

A partir destes consumos dos combustíveis foram estimados os consumos municipais de aquecimento e arrefecimento. Foram utilizadas taxas de energia final para estes fins, de acordo com a zona climática. É relevante realçar que cada zona climática engloba vários municípios diferentes, com possíveis variações nos parâmetros construtivos, hábitos de consumo e até com ligeiras diferenças ao nível dos parâmetros climáticos, dentro dos limites do intervalo definido para cada zona climática. Assim, os valores do consumo terão sempre associado um erro decorrente da utilização de taxas de energia para climatização, que não se encontram detalhadas

ao nível do município ou freguesia. Os consumos efetivos de aquecimento podem ser consultados na Figura 4.13.

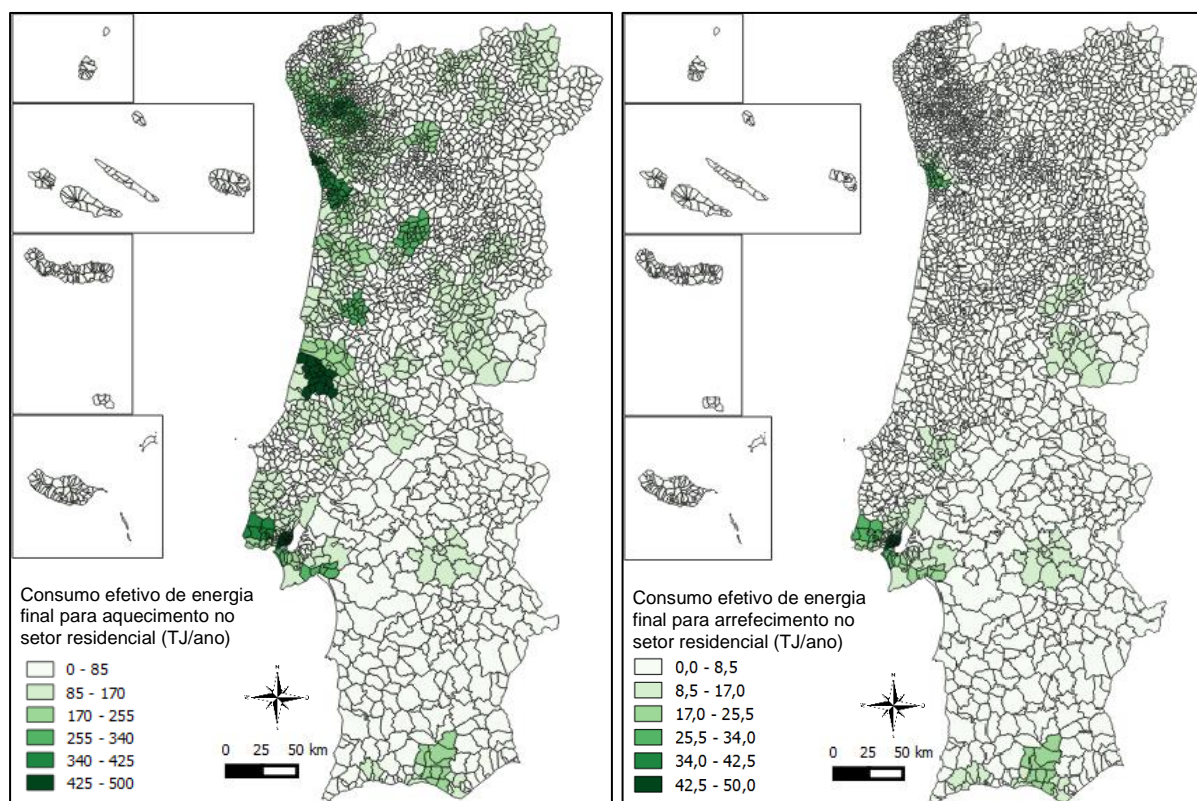


Figura 4.13 - Consumo anual efetivo de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) no setor residencial (TJ/ano), por município

No que respeita ao consumo para aquecimento, a utilização destas taxas enfatizou naturalmente os municípios no centro e norte do país como maiores consumidores, devido ao facto de estes se encontrarem em zona climática de inverno I2 e I3, com temperaturas mais baixas na estação de aquecimento. Lisboa continua a corresponder a um local de grande consumo, não particularmente devido à zona climática onde se insere, mas por causa da considerável população e número de alojamentos da cidade, que no seu conjunto é responsável pelo consumo de energia para este uso, mesmo no caso de o consumo por alojamento não ser muito significativo. Relativamente ao consumo para arrefecimento, pela percentagem do consumo final que representa ser residual, não se destaca em particular nenhuma zona em que o consumo de combustíveis não fosse já relativamente elevado. Assim, Lisboa e Porto correspondem aos locais de maior consumo de energia para este fim.

Depois de serem determinados os consumos municipais para aquecimento e arrefecimento, através das taxas obtidas pela consulta de literatura, foi efetuada uma ponderação para estimar, para cada município, as proporções de consumo de cada freguesia constituinte. As áreas totais das freguesias podem ser observadas no Anexo B. Outro procedimento para obter os consumos das freguesias seria utilizar apenas os números de alojamentos, mas, nesse caso, não se teria em conta um parâmetro importante que foi considerado na determinação das necessidades de energia final. Como o objetivo destas estimativas passa por calcular o *gap* energético, é relevante

que as condições de estimativa das necessidades e consumos das freguesias sejam os mais semelhantes possíveis. Por outro lado, realça-se que este é um método de estimativa “*top-down*”, onde não são tidas em consideração as características dos alojamentos e dos seus equipamentos, sendo por isso os resultados menos detalhados e precisos. Ao utilizar as áreas, introduz-se um elemento de detalhe ou de especificação, que aumenta a qualidade dos resultados de consumo efetivo. Utilizar apenas os alojamentos resultaria também na perda de um fator de diferenciação entre regiões, visto que o valor das áreas das tipologias varia consoante a região do país.

Através da ponderação com os valores das áreas totais, foram então obtidos os mapas de consumo efetivo de energia final para aquecimento e arrefecimento, por freguesia, ilustrados na Figura 4.14. Os valores totais obtidos para o aquecimento e arrefecimento são, respetivamente, 21318 e 984 TJ anuais. Comparando com os valores de Magalhães e Leal (2014), que estimaram valores iguais a 22 640 e 565 TJ para aquecimento e arrefecimento, respetivamente, verifica-se que o valor de consumo para o aquecimento é muito semelhante, enquanto para o arrefecimento existe uma diferença significativa. Esta diferença estará relacionada com o uso de taxas de energia para arrefecimento por zona climática neste trabalho, ao passo que Magalhães e Leal (2014) utilizaram uma taxa nacional.

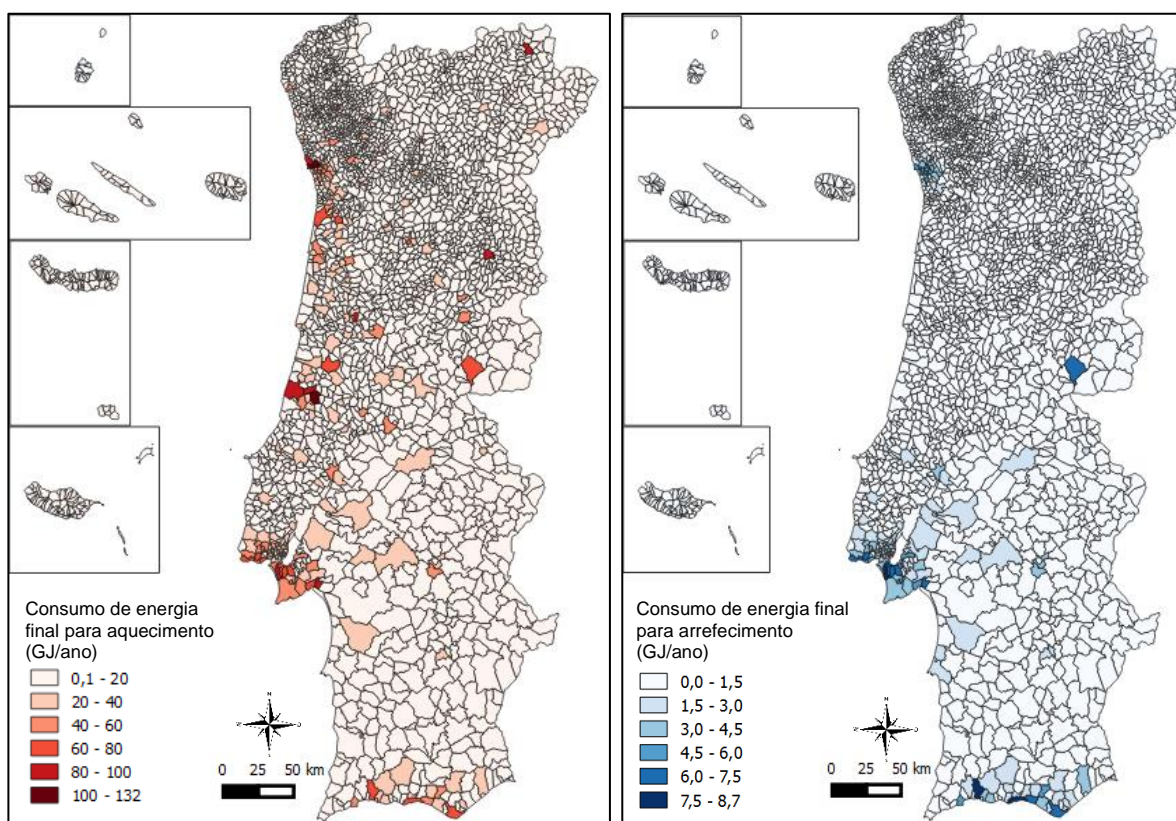


Figura 4.14 - Consumo anual efetivo de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) por freguesia (GJ/ano)

De modo a observar de forma mais particular o impacto da consideração dos diferentes parâmetros na determinação das necessidades de energia útil e final, apresentam-se na Tabela 4.2 e 4.3, os valores das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento, para uma seleção de municípios com maior número de alojamentos, por região climática. É igualmente apresentado o *ranking* em relação aos outros municípios. Comprova-se pelas movimentações no *ranking* que o número de alojamentos tem um peso maior do que a área climatizada para a determinação das necessidades de energia. Após a consideração daquele parâmetro, vários municípios que se encontravam no fundo da tabela passam a figurar no topo. Os dados destas tabelas realçam mais uma vez a importância de se considerar diferentes indicadores na avaliação das necessidades energéticas para conforto térmico. Assim, cada indicador poderá servir para um diferente propósito, permitindo comparações de diferente natureza entre os municípios. As necessidades anuais de energia útil por área e alojamento permitem avaliar o impacto das características das tipologias construtivas, enquanto as necessidades de energia por alojamento permitem avaliar o efeito do tamanho das habitações nesta análise. Ao considerar as taxas de posse de equipamentos de climatização e respetivas eficiências, obtêm-se as necessidades de energia final. As necessidades de energia final por ano representam a verdadeira magnitude do problema para todo o município.

Tabela 4.2 - Necessidades energéticas para aquecimento e respetivo *ranking* de municípios selecionados

Município	Zona Climática agregada	Energia útil (MJ/(m².ano)) por alojamento	#	Energia útil (GJ/ano) por alojamento	#	Energia útil (TJ/ano)	#	Energia final (MJ/(m².ano)) por alojamento	#	Energia final (GJ/ano) por alojamento	#	Energia Final (TJ/ano)	#
Lisboa	V2I1	128	287	22	258	2180	9	138	293	24	282	2255	25
Sintra	V2I1	162	245	27	224	2636	5	225	248	38	231	3515	8
Braga	V2I2	244	105	49	111	2775	3	362	147	74	135	4069	5
Coimbra	V2I2	158	264	34	150	2006	11	252	228	54	168	3209	9
Guarda	V2I3	349	42	91	3	1311	25	668	42	170	9	2475	16
Chaves	V2I3	453	1	76	22	1378	22	820	20	130	49	2440	17
Almada	V3I1	166	233	27	200	1354	23	215	258	36	243	1666	41
Seixal	V3I1	132	282	23	253	811	53	188	277	33	251	1131	67
Covilhã	V3I2	365	33	61	63	1342	24	627	49	99	102	2113	29
Vila Real	V3I2	389	19	65	43	1402	20	694	40	110	84	2310	23

Tabela 4.3 - Necessidades energéticas para arrefecimento e respetivo *ranking* de municípios selecionados

Município	Zona Climática agregada	Energia útil (MJ/(m².ano)) por alojamento	#	Energia útil (GJ/ano) por alojamento	#	Energia útil (TJ/ano)	#	Energia final (MJ/(m².ano)) por alojamento	#	Energia final (GJ/ano) por alojamento	#	Energia Final (TJ/ano)	#
Lisboa	V2I1	35	286	5	290	938	2	28	286	4	290	766	2
Sintra	V2I1	40	203	6	246	1008	1	33	203	5	246	822	1
Braga	V2I2	45	160	8	171	486	7	37	160	6	171	396	7
Coimbra	V2I2	37	221	8	155	457	8	30	221	6	155	373	8
Guarda	V2I3	48	151	13	29	190	45	39	151	11	29	155	45
Chaves	V2I3	42	187	8	159	137	68	34	187	6	159	112	68
Almada	V3I1	56	82	8	125	551	5	46	82	7	125	450	5
Seixal	V3I1	53	110	8	147	360	17	43	110	7	147	294	17
Covilhã	V3I2	52	130	10	105	210	36	43	130	8	105	172	36
Vila Real	V3I2	54	90	10	81	212	35	44	90	8	81	173	35

4.3. Gap de desempenho energético

A partir dos dados anuais de necessidades de energia final e de consumo estimado foi determinado o *gap* de energia final para as condições de referência de conforto térmico, em valor absoluto e em percentagem. Um *gap* de 100% significa que não existe qualquer consumo de energia final para climatização e 0% significa que o valor de consumo é igual ao valor das necessidades de conforto térmico. Foi avaliado o *gap* relativo ao cenário de referência e a dois cenários em que se procedeu a alterações na área climatizada e duração da climatização.

4.3.1. Cenário de Referência

Na análise do *gap* denominou-se de “cenário de referência”, quando são consideradas as necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento para conforto térmico, correspondentes à climatização do total da área dos alojamentos e durante as 24 horas diárias. Relativamente ao aquecimento, observando a Figura 4.15, verifica-se que todas as freguesias possuem, no mínimo, um *gap* de 63%, sendo que a maioria regista um *gap* superior a 86%. Isto significa que as necessidades são consideravelmente superiores à energia que realmente é consumida. No norte do país, praticamente todas as freguesias possuem um *gap* energético superior a 93%, que se deve às elevadas necessidades, decorrentes das condições climáticas de inverno mais severas e das áreas das tipologias mais elevadas, que contrastam com um consumo efetivo de combustíveis muito reduzido. O efeito das maiores taxas de consumo de energia final para aquecimento, assumidas para as zonas climáticas I3 e I2, acaba por não se refletir em valores de *gap* mais reduzidos no norte e centro do país, devido à magnitude das necessidades. Por outro lado, as freguesias do município de Lisboa e da margem sul da área metropolitana de Lisboa apresentam das estimativas de consumos mais elevadas, o que resulta num *gap* mais reduzido, ligeiramente superior a 70%. O *gap* global de energia para aquecimento para o país situa-se nos 92%. O *gap* médio das freguesias é de 93%.

Igualmente ilustrados no mapa da Figura 4.15, os *gaps* relativos à energia final para arrefecimento são ainda mais extremos, sendo que o valor de *gap* mais reduzido de uma freguesia corresponde a 85%. Verifica-se uma ligeira diferença do *gap* entre o norte do país, Baixo Alentejo e as áreas metropolitanas de Lisboa e Porto, e as restantes regiões alentejanas, com estas últimas a terem um *gap* associado inferior em alguns pontos percentuais. As freguesias com *gaps* mais reduzidos encontram-se no Algarve. O *gap* médio de arrefecimento das freguesias é de 97%, enquanto o *gap* nacional de arrefecimento corresponde a 96%. Tal como para o aquecimento, estas diferenças de magnitude resultam da elevada exigência dos parâmetros das necessidades de referência. No caso particular do arrefecimento, a disparidade é ainda mais significativa, pelo facto de, em Portugal, a taxa de posse dos equipamentos que providenciam este serviço energético ser muito reduzida, resultando numa percentagem ínfima do consumo de energia final.

Como se observa na Figura 4.16, 2951 freguesias (95.5% do total) possuem um *gap* energético de aquecimento superior 86%. Menos de 1% das freguesias tem associado um *gap* inferior a 75%. Relativamente ao arrefecimento (Figura 4.17), o maior número de freguesias, cerca de 64%, apresenta um *gap* igual ou superior a 98%. Apenas 1% das freguesias tem associado um *gap* inferior a 90%. Estes dados são demonstrativos do problema do conforto térmico em Portugal.

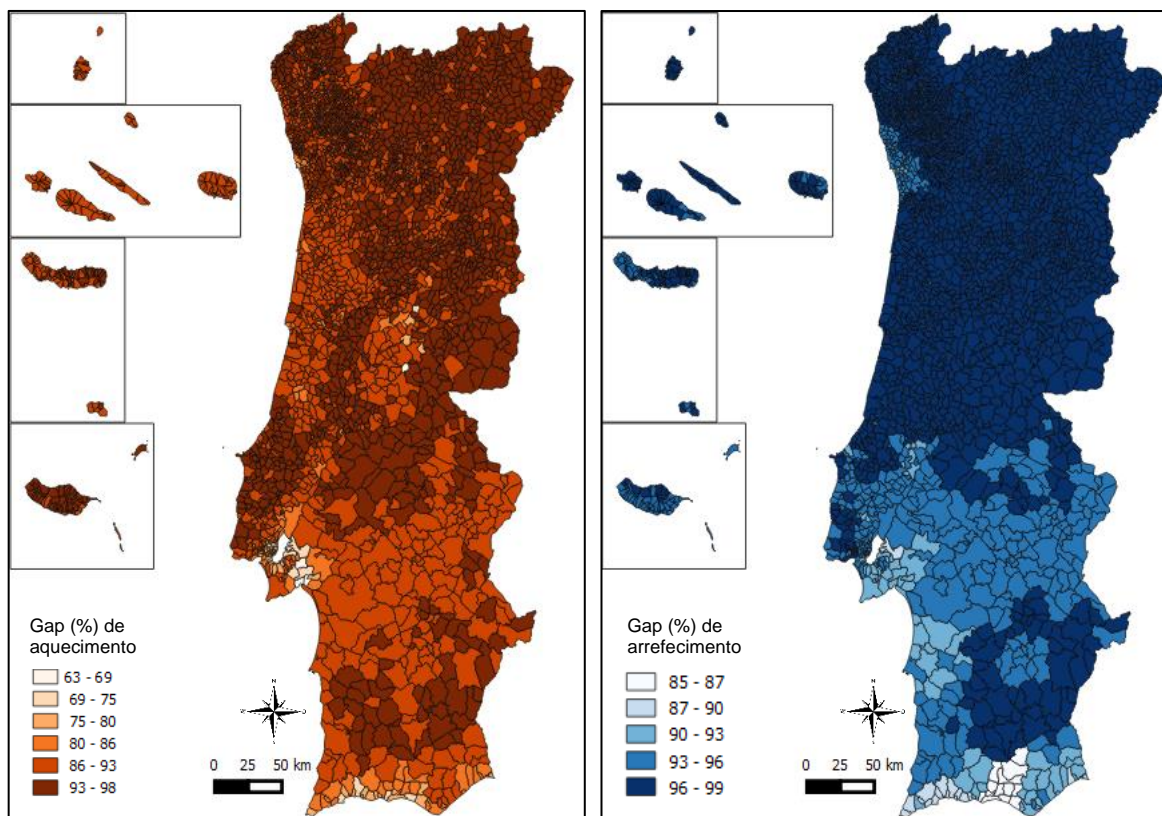


Figura 4.15 - Gaps de energia (%) de aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por freguesia

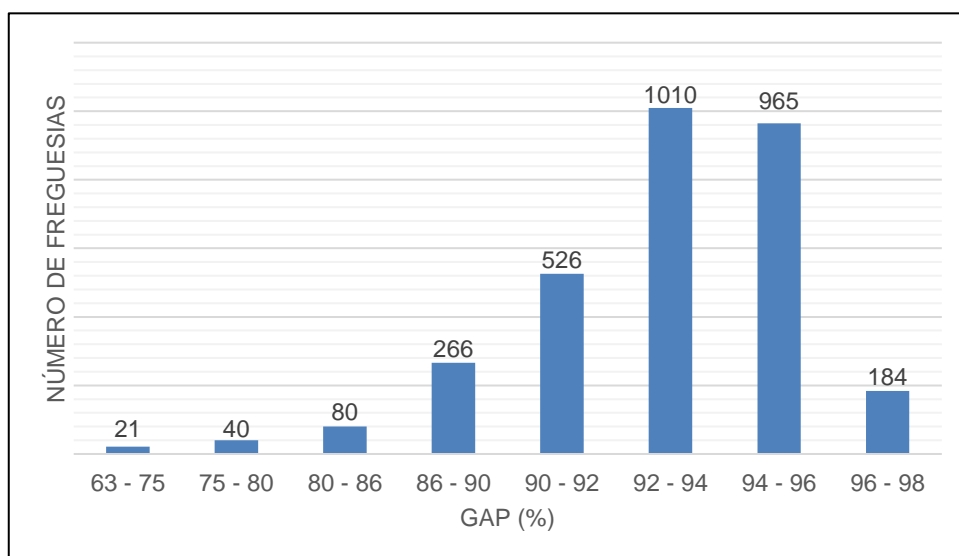


Figura 4.16 - Distribuição de freguesias por classe de *gap* de aquecimento

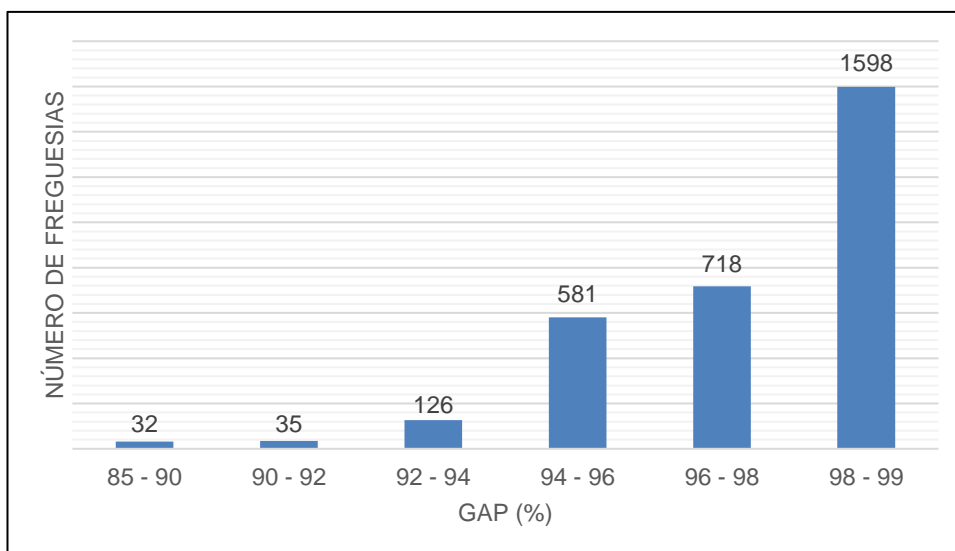


Figura 4.17 - Distribuição de freguesias por classe de *gap* de arrefecimento

Analisando o mapeamento do *gap* de valor absolutos (Figura 4.18), verifica-se que as freguesias onde ocorrem as maiores diferenças absolutas entre necessidades de energia final para conforto térmico e consumo efetivo de energia final são as que apresentam um consumo efetivo mais elevado e onde as necessidades assumem igualmente valores mais significativos.

O valor absoluto do *gap* está principalmente relacionado com o número de alojamentos, pois quanto maior for o valor deste parâmetro, maior será esse *gap*. Uma freguesia com reduzido número de alojamentos poderá ter um consumo de energia baixo, a corresponder a uma percentagem muito reduzida das necessidades, e a um *gap* percentual elevado, mas devido ao reduzido valor das suas necessidades, o valor absoluto da diferença não será de grande dimensão e consequentemente essa freguesia não será realçada neste mapa.

Por outro lado, através deste mapa, é possível conhecer a magnitude da diferença energética em termos absolutos e identificar os principais focos onde será necessário aumentar o consumo de forma significativa, para alcançar o conforto térmico dentro das habitações. Colmatar o *gap* percentual de 90% de uma freguesia, poderá significar um menor gasto energético que colmatar um *gap* de 10% de uma freguesia com diferentes características.

Assim, a utilização dos mapas de *gaps*, em valor absoluto e percentual, é a melhor ferramenta de análise pois possibilita simultaneamente avaliar se o consumo de uma freguesia está perto ou longe de suprir as necessidades, e também, numa perspetiva mais geral, avaliar a dimensão do consumo necessário para as suprir. Para colmatar o *gap* absoluto nacional, seria necessário que o consumo nacional fosse onze e vinte e seis vezes superior ao consumo de 2013, para aquecimento e arrefecimento respetivamente.

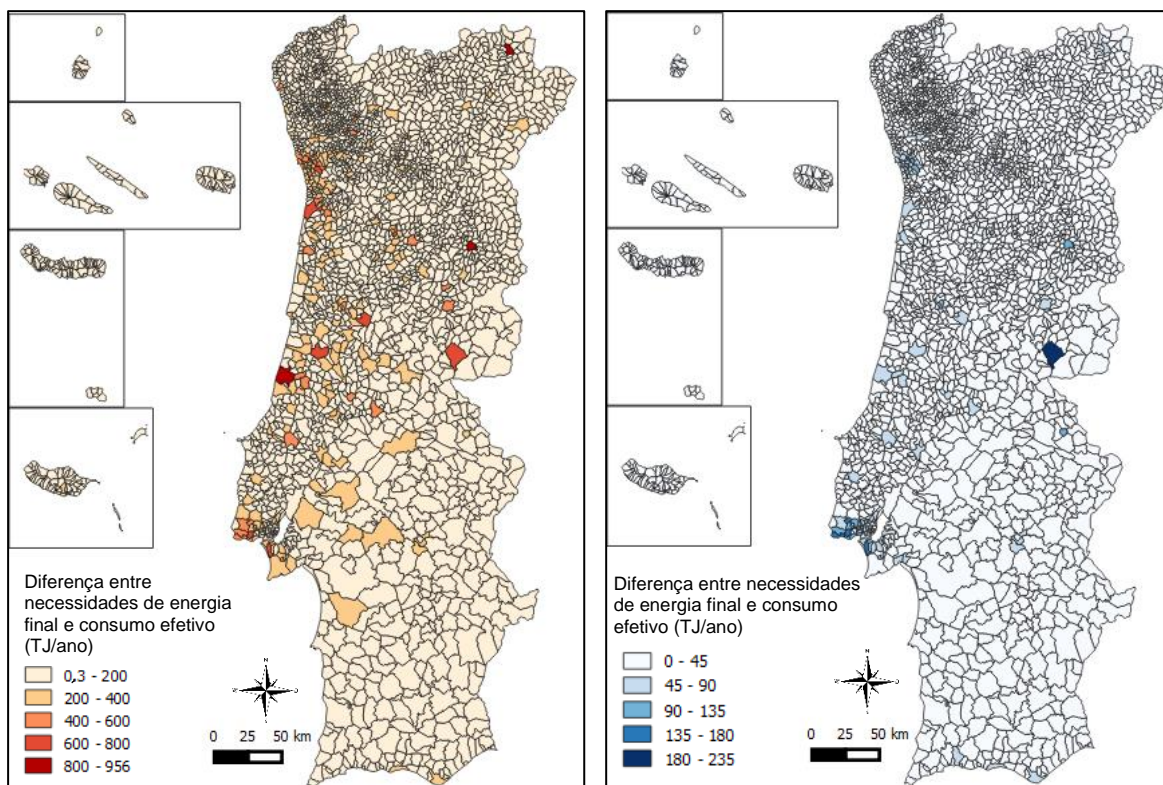


Figura 4.18 - *Gap* em valor absoluto entre necessidades e consumo efetivo de energia final, para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por freguesia (TJ/ano)

Procedeu-se a uma análise de sensibilidade das necessidades de energia final, de acordo com dois dos parâmetros mais significativos que influenciam a determinação das necessidades de energia final para climatização: a área climatizada e a duração diária da climatização. Foi efetuada uma redução dos valores destes parâmetros individualmente e avaliada a sua repercussão no *gap* percentual global do país. O valor do consumo manteve-se inalterado. As necessidades variam linearmente com os dois parâmetros analisados, tal como o *gap* de valor absoluto, como seria de esperar. Como pode ser observado na Figura 4.19, para o consumo colmatar as necessidades de aquecimento do país, seria necessário reduzir a área aquecida para cerca de 8% da área total dos alojamentos, assumindo sempre que todos os alojamentos do país são aquecidos.

Para as necessidades de arrefecimento serem supridas, seria necessário reduzir a área arrefecida até 4% da área total do alojamento. Nesta redução de área, considera-se que a climatização é realizada durante as vinte e quatro horas diárias. Relativamente à variação das horas de climatização diárias (Figura 4.20), assumindo que a área climatizada corresponde a 100% da área dos alojamentos, seria necessário reduzir a duração de aquecimento e arrefecimento para duas horas e cerca de 50 minutos por dia, respetivamente, de forma a que o consumo energético colmate as necessidades.

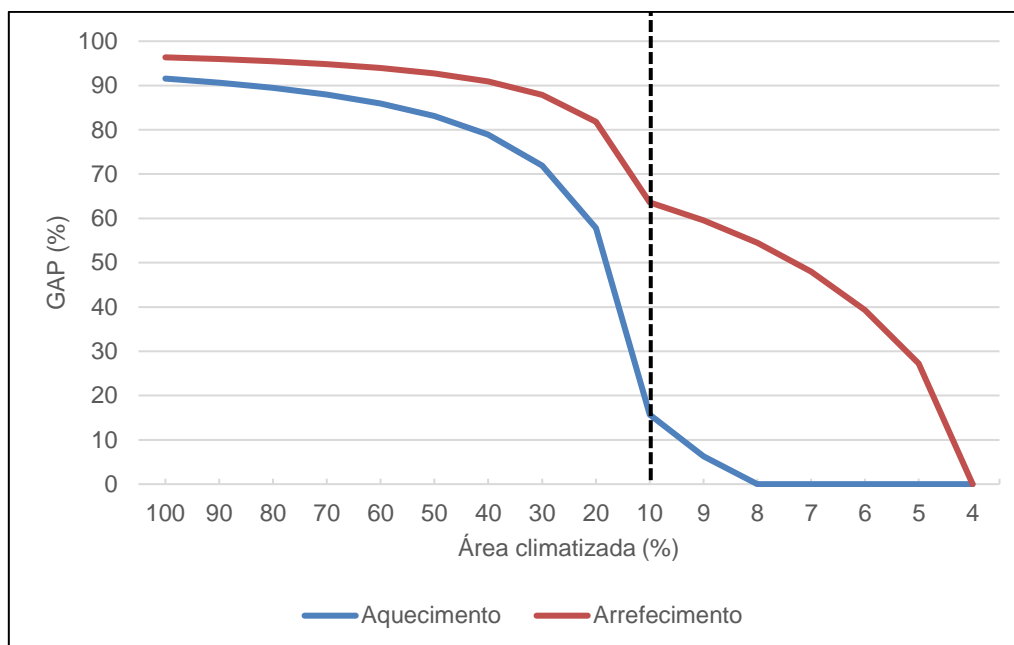


Figura 4.19 - Efeito da redução da área climatizada no *gap* percentual do país

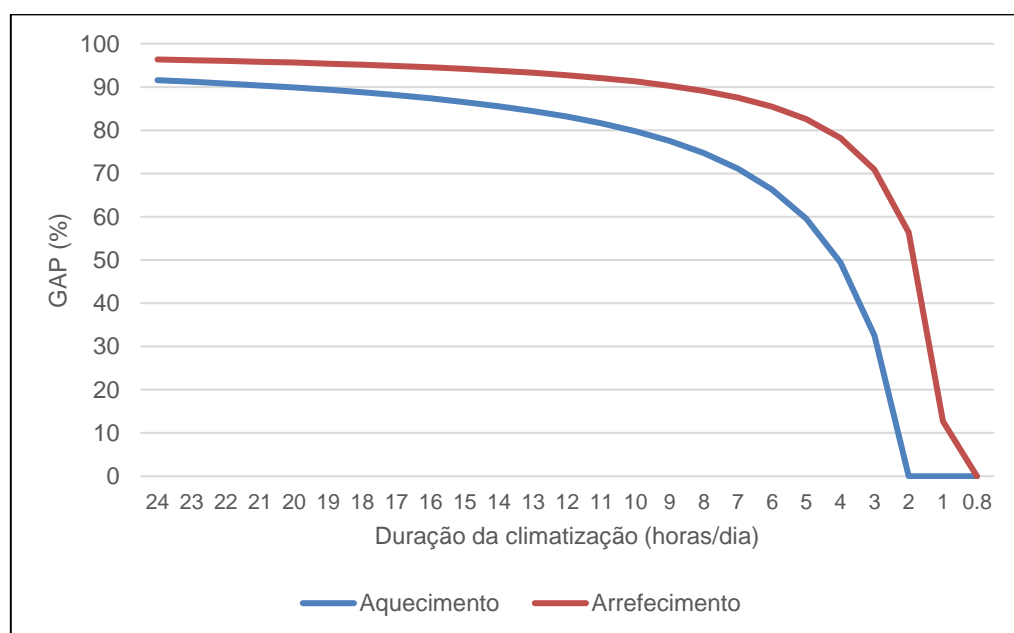


Figura 4.20 - Efeito da redução da duração do período de climatização no *gap* percentual do país

Os resultados apresentados são a evidência da grande discrepância entre as necessidades e o consumo efetivo. Conclui-se que, tendo em conta o consumo efetivo estimado, é inoportuno reduzir apenas os valores de um dos parâmetros e garantir um ambiente térmico de conforto nos alojamentos.

Atendendo aos consideráveis valores de *gap* estimados para as freguesias e para o país, torna-se relevante analisar a causa que reside por trás destes resultados. Como Wilde (2014) refere no seu estudo, é praticamente inevitável que ocorra alguma variação entre as necessidades e o consumo, especialmente quando ambos os valores resultam de algum processo de estimativa,

causada por potenciais erros numéricos, limitações e incertezas associadas ao método utilizado. As transferências e ganhos de energia térmica e a sua relação com os inúmeros componentes de um alojamento e edifício são processos complexos, sujeitos a variações que ocorrem, difíceis de prever, causadas por diferentes características dos edifícios e condições climáticas. Assim, esta discrepância entre necessidades e consumo poderá estar relacionada com a definição das características das tipologias e atribuição errónea de valores aos parâmetros associados a essas características, que são posteriormente utilizados nos cálculos. De facto, admite-se que tenham sido atribuídos valores a parâmetros construtivos que não representem da forma mais fiel possível a maioria dos edifícios de Portugal, o que seria um risco praticamente impossível de evitar, tendo em conta que foram englobados milhões de edifícios em apenas onze tipologias diferentes.

A variação das características do edificado português é tão vasta que qualquer exercício teórico que a procure representar terá sempre associada um erro de difícil resolução. Neste sentido, algum parâmetro poderá ter sido caracterizado de forma a contribuir para uma potencial sobrestimação das necessidades de climatização. No entanto, por outro lado, os limites de referência para os parâmetros construtivos, definidos no regulamento de desempenho de edifícios, foram tidos em conta na atribuição dos valores dos parâmetros das tipologias criadas. Consoante a data de construção da tipologia, foram considerados os valores de referência do regulamento em vigência nessa data, tendo até sido criadas novas tipologias para o período de construção 2006 a 2011, de forma a considerar os padrões de maior eficiência energética do RCCTE. Porém, antes de 1990, não existia qualquer regulamento de desempenho energético dos edifícios, pelo que a variação das características dos edifícios seria mais acentuada e difícil de uniformizar em tão reduzido número de tipologias. É igualmente importante realçar que a definição dos parâmetros construtivos, quando se pretende avaliar o desempenho energético de um edifício de forma individual, resulta normalmente na subestimação das necessidades, e não na sobrestimação, pois, por vezes, os requisitos definidos nas normas e regulamentos não são cumpridos na fase de design e construção, resultando num consumo superior ao esperado (Wilde, 2014).

O número de alojamentos poderá também contribuir para um aumento do erro na determinação das necessidades, pois foi necessário recorrer a um processo de estimativa para alocar os alojamentos pelas tipologias de edifícios. No entanto, foram considerados apenas os alojamentos de edifícios residenciais, ocupados e de residência habitual, o que poderia até resultar, de certa forma, numa subestimação das necessidades, visto não se considerar alojamentos de residência temporária, onde também ocorre consumo. O número total de alojamentos estimados é idêntico ao número real de alojamentos, de acordo com as estatísticas do INE.

Um fator que contribui indubitavelmente para a estimativa de necessidades com valores mais significativos e que explica parcialmente a discrepância para o consumo foi a consideração de uma taxa de posse de equipamentos de climatização igual a 100%, o que significa que todos os alojamentos são, de facto, climatizados. Esta assunção é válida, na medida em que, se um alojamento é habitado, e partindo do princípio que todos os seus habitantes têm a necessidade

e direito de viverem num ambiente termicamente confortável, devem ser consideradas as suas necessidades. Por outras palavras, as necessidades de aquecimento e arrefecimento calculadas dizem respeito a todos os alojamentos habitados, quer possuam equipamentos de climatização ou não. Na realidade, em Portugal, nem todos os alojamentos habituados possuem equipamento para climatização de espaços. É possível afirmar que existe a forte possibilidade de não existir nenhum consumo para esse fim em parte dos alojamentos portugueses. Este fator contribui para o aumento do valor do *gap*. Todavia, se forem analisados os resultados do projeto Clima_Adapt, obtidos através da ferramenta BldAdaPT, onde foi determinado o *gap* percentual para vinte e três municípios, sem contabilizar os alojamentos sem nenhum equipamento de climatização, verifica-se que os *gaps* determinados registam valores muito acentuados igualmente. Escolhendo para comparação os municípios de Sintra, Leiria e Guimarães, os *gaps* resultantes do projeto foram respetivamente 89, 87 e 91% para aquecimento e 77, 78 e 76% para arrefecimento, enquanto neste trabalho os valores de *gap* para os mesmos municípios foram 90, 87 e 94% para aquecimento e 97, 98 e 98% para arrefecimento. Como a taxa de posse de equipamentos de aquecimento é elevada, as diferenças no *gap* não são significativas. Magalhães e Leal (2014) estimou um *gap* percentual entre as necessidades e o consumo de energia útil para aquecimento de 95%, para todo o país, considerando todos os alojamentos, independentemente de possuírem ou não equipamentos de climatização, valor semelhante ao *gap* relativo à energia final calculado neste trabalho. No caso dos *gaps* de energia final para arrefecimento, se os alojamentos sem equipamentos de climatização não forem contabilizados, as necessidades assumiriam valores muito diferentes, pois as taxas de posse de equipamentos para arrefecimento são significativas reduzidas. Mesmo assim os valores de *gap* no *toolkit* BldAdaPT são elevados, pois o consumo é residual.

Contudo, uma causa importante desta diferença entre os valores de energia das necessidades e consumo será provavelmente o comportamento e hábitos de climatização dos ocupantes dos alojamentos. É uma causa de carácter operacional, tal como refere Wilde (2014). As necessidades estimadas correspondem a uma climatização que decorre durante todas as vinte e quatro horas diárias e para toda a área dos alojamentos. No entanto, em Portugal, a área aquecida e arrefecida representa apenas uma pequena fração da área total do alojamento e os equipamentos de climatização estão apenas ligados e a funcionar uma parte do tempo (Gouveia et al., 2012). A muito reduzida taxa de posse de equipamentos de climatização central corrobora a ideia de que o aquecimento e arrefecimento são realizados de forma localizada. Como refere Magalhães e Leal (2014), de acordo com outros estudos de diferentes contextos geográficos, as pessoas não mantêm as suas habitações permanentemente a um nível mínimo de 20°C na estação de aquecimento e a 25°C na estação de arrefecimento.

Compreender o verdadeiro significado desta diferença parece constituir o principal desafio que poucos estudos procuraram abordar até agora (Magalhães e Leal, 2014). O *gap* poderá constituir apenas um efeito de padrões de climatização definidos num particular período de tempo e espaço, isto é, a climatização é apenas efetuada em partes ocupadas da habitação e quando os

ocupantes se encontram na habitação. Porém, poderá também ser indicativo de *deficit* de conforto térmico (Nicols e Humphreys, 2002; Magalhães e Leal, 2014). Tendo em conta os vários indicadores do nível significativo de pobreza energética em Portugal, esta diferença entre as necessidades e consumo será sintoma da precariedade das condições de conforto térmico, em alguns casos. Noutros, poderá, de facto, corresponder a um padrão de climatização, definido por escolha dos ocupantes, em que o estado de conforto térmico não é colocado em risco. Como descrito no princípio adaptativo, os ocupantes interagem e adaptam-se ao ambiente em que estão inseridos. Assim, poderá também acontecer que os ocupantes se adaptam a temperaturas ligeiramente diferentes das temperaturas de referência, não necessitando de consumir tanto como seria esperado. Desta forma, é possível afirmar que o facto de o consumo efetivo não suprir as necessidades, correspondentes à climatização de 100% da área do alojamento, e de duração diária ininterrupta, não é obrigatoriamente sinónimo da ocorrência de situações de desconforto térmico.

É difícil prever e compreender os padrões de comportamento que regem a forma como a climatização é efetuada, visto que estes estão intimamente relacionados, não só com a sensação de conforto térmico, por si só um parâmetro de carácter subjetivo e influenciado por fatores complexos, mas também com a capacidade financeira dos ocupantes. A título de exemplo, para a Agência Internacional de Energia (IEA, 2016), os preços da eletricidade em Portugal assumem valores elevados, tendo apresentado um aumento médio de 8.8% por consumidor do setor residencial, entre 2008 e 2015. Em relação à média da União Europeia, os preços de eletricidade e gás natural para os agregados familiares portugueses foram 13% e 38% mais elevados (PORDATA, 2016).

Um dos fatores mais relevante na definição destes padrões de comportamento é certamente o clima da região onde o alojamento se encontra. Tendo este facto em conta, procurou-se desenvolver dois cenários de análise da sensibilidade das necessidades de energia final, ao efeito conjunto de redução dos valores estabelecidos para os parâmetros área e duração de climatização no cenário de referência. A percentagem de redução é estabelecida de acordo com a zona climática em que cada freguesia se insere. Estes cenários constituem um teste de dois padrões de climatização, que se definem pelas condições climáticas.

4.3.2. Cenário “Conservador”

As reduções da área e duração de climatização, definidas neste cenário, tiveram um impacto significativo nos valores das necessidades. Comparando a Figura 4.21 com a Figura 4.14, onde se encontram representadas as necessidades de energia final para aquecimento das freguesias relativas ao cenário de referência, verifica-se que este cenário resultou numa uniformização das necessidades a nível regional e nacional. Por outras palavras, a discrepância entre os valores de necessidades das diferentes freguesias foi reduzida. As necessidades das freguesias das áreas metropolitanas de Lisboa e Porto já não fazem parte das o grupo de freguesias com maiores necessidades, pois ao pertencerem à zona climática I1, que é a zona climática de

inverno menos severa, sofreram as maiores reduções de área aquecida e duração de aquecimento, restringindo as suas necessidades de forma considerável. As freguesias com maiores necessidades distribuem-se neste cenário de forma mais localizada e esporádica, no norte e centro do país. Existem duas freguesias que se destacam das restantes pelo valor considerável das suas necessidades – a freguesia União das Freguesias de Sé, Santa Maria e Meixedo, do município de Bragança, e a freguesia de Guarda, situada no município homónimo. Se se analisar a freguesia de Guarda, é possível compreender que o elevado valor de necessidades de energia, já verificado igualmente no cenário de referência, deve-se à combinação de dois fatores: a sua localização na zona climática I3, que significa um maior número de graus-dia anuais e consequentemente de necessidades de energia útil, e o seu número de alojamentos, consideravelmente elevado tendo a conta o distrito e região do país onde se encontra. Comparando com freguesias vizinhas como Gonçalo e Jarmelo São Miguel, as necessidades de energia final por tipologia desta freguesia são inferiores, devido a menores taxas de posse em equipamentos pouco eficientes. Porém, quando se considera os alojamentos no cálculo, as suas necessidades de energia final ultrapassam largamente as das freguesias vizinhas. No mapa das necessidades do cenário da referência, esta freguesia tem um valor de necessidades de aquecimento ao nível das freguesias dos subúrbios de Lisboa e Porto. Enquanto essas freguesias têm um número de alojamentos superior (são das freguesias com maior densidade populacional), a freguesia da Guarda situa-se em zona climática mais severa, onde as taxas de posse de equipamentos como a lareira aberta é superior, o que contrabalança as necessidades de energia final. Neste cenário, a área aquecida e duração de aquecimento foram reduzidas de forma mais significativa nessas freguesias urbanas, precisamente por se encontrarem em zona climática de inverno mais amena, o que resulta em necessidades de energia final comparativamente mais elevadas na freguesia de Guarda. O caso da União das freguesias de Sé, Santa Maria e Meixedo é análogo ao da freguesia da Guarda.

No mapa das necessidades de arrefecimento (Figura 4.21), comprova-se que estas são, no geral, reduzidas em todo o país, destacando-se de forma isolada a freguesia de Castelo Branco. Esta distinção não é resultado das taxas de posse de equipamentos, visto que se consideraram as proporções nacionais dos equipamentos para todas as freguesias. A razão para este destaque é o facto de esta ser a freguesia com maior número de alojamentos em toda a zona V3, zona climática de verão com maiores temperaturas exteriores e que dá azo às maiores necessidades. Para este cenário, a diferença em valor absoluto entre as necessidades e o consumo de aquecimento e arrefecimento, que pode ser observada na Figura 4.22, será maior nas mesmas freguesias onde o valor das necessidades é igualmente maior, visto que não foram alterados os valores de consumo efetivo. É possível verificar no mapa relativo à diferença das necessidades e consumo para aquecimento para este cenário que, em várias freguesias situadas principalmente no sul de Portugal, o valor dos consumos é superior ao das necessidades. No mapa, situações em que o consumo é superior às necessidades, a diferença é representada com o sinal negativo. Para o *gap* absoluto do país ser colmatado, seria necessário que o consumo fosse duas e quatro superior ao de 2013, para o aquecimento e arrefecimento respetivamente.

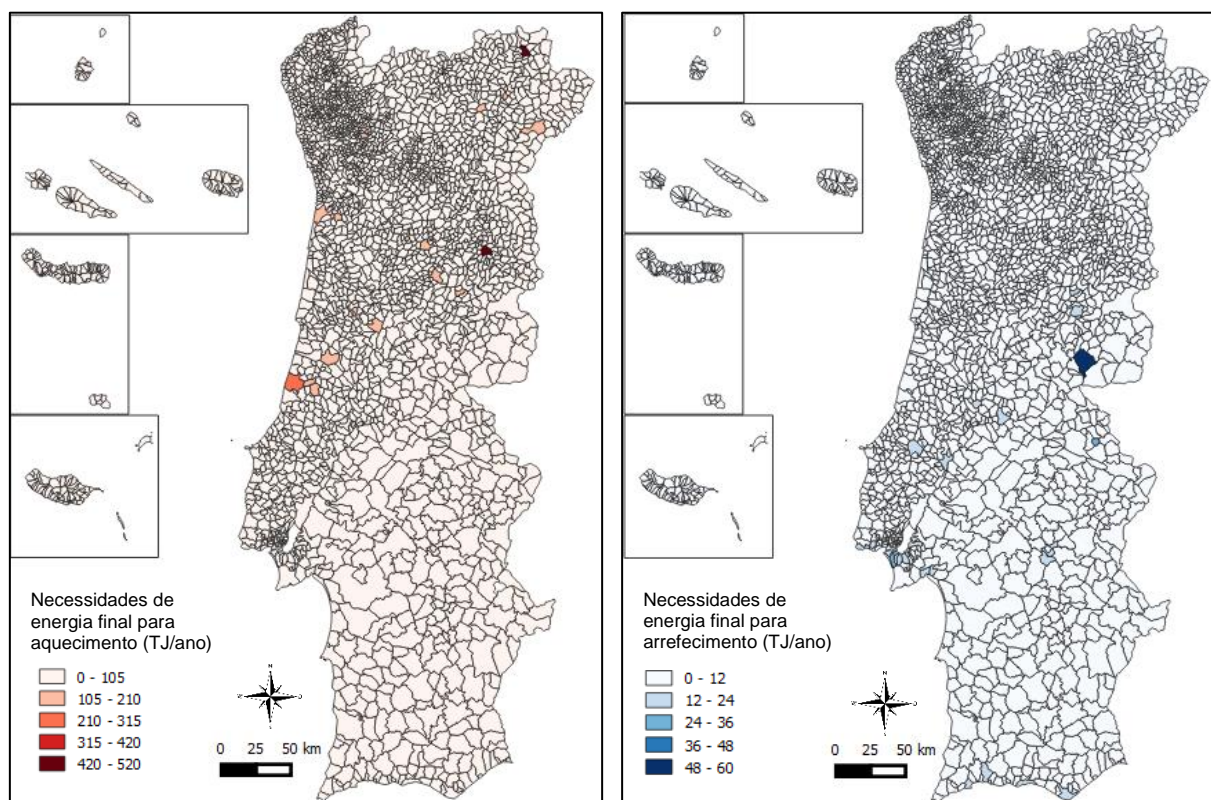


Figura 4.21 - Necessidades de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por freguesia, no cenário "Conservador" (TJ/ano)

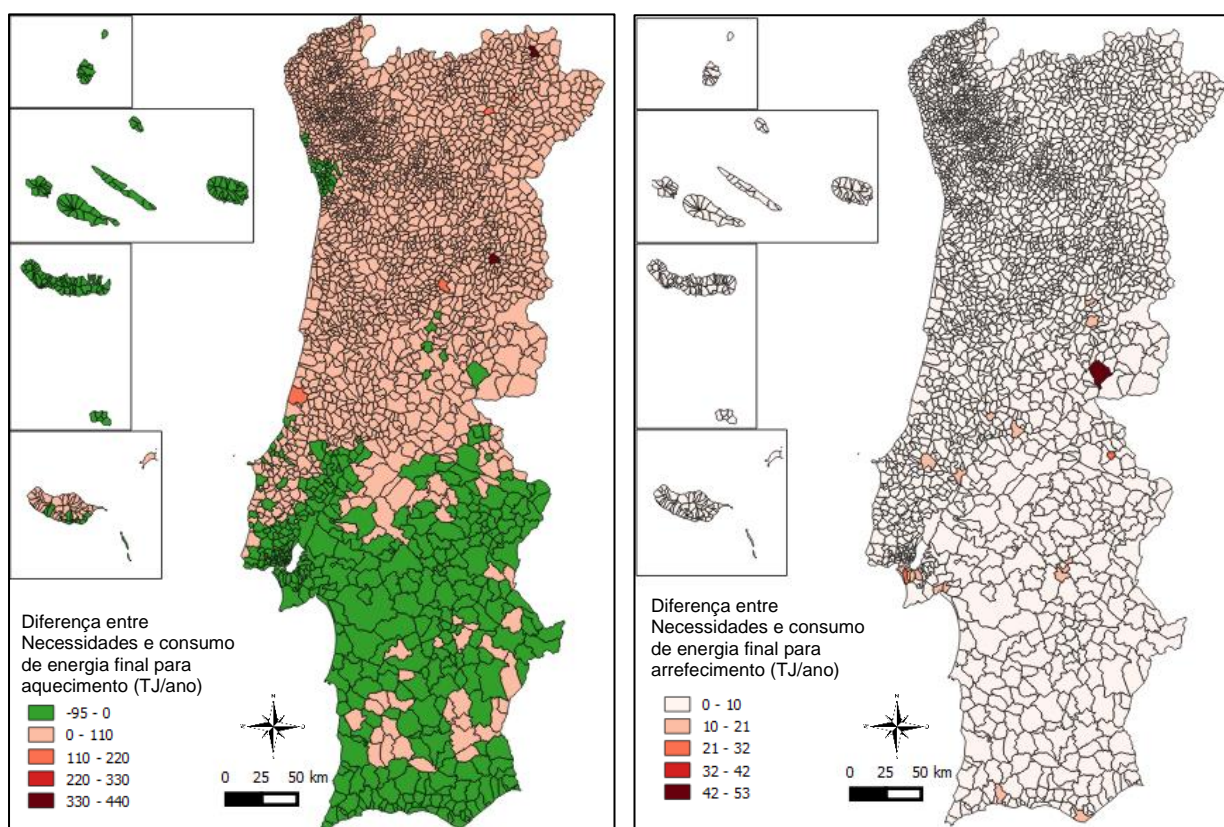


Figura 4.22 – Gap em valor absoluto entre as necessidades e consumo de energia final, para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), por freguesia, no cenário "Conservador" (TJ/ano)

Relativamente ao *gap* percentual, estimado de acordo com os pressupostos deste cenário, denota-se uma redução dos seus valores, como esperado, mais significativa nos *gaps* de aquecimento, visto que estes já apresentavam percentagens mais reduzidas no cenário de referência. Os mapas dos *gaps* de aquecimento e arrefecimento podem ser observados na Figura 4.23. Os maiores valores de *gap* de aquecimento verificam-se agora distintamente no norte e centro de Portugal (ao contrário do que se observa no mapa dos *gaps* do cenário de referência), onde grande parte das freguesias possui um *gap* superior a 60%. Todas as freguesias de Portugal com *gap* superior a 60% situam-se no centro e norte, que representam 57% do número total. Os maiores valores de *gap* situam-se em duas regiões particulares, a região Beiras e Serra da Estrela e Terras de Trás-os-Montes, que ocupam a maior parte da zona climática I3.

Verifica-se uma variação significativa do valor do *gap* das freguesias das Regiões Autónomas, que se deve as desigualdades no número de alojamentos das mesmas. Na Madeira existe igualmente uma variação relativamente significativa nas taxas de posse, que explica igualmente a discrepância nos valores do *gap* de aquecimento entre as freguesias dessa ilha. Os menores valores de *gap* ocorrem principalmente no sul do país e algumas zonas do centro litoral e interior.

Este cenário resultou na eliminação do *gap*, isto é, *gap* de valor zero, em aproximadamente 20% da totalidade das freguesias. Para as freguesias em que o *gap* desaparece neste cenário, é provável que a causa do *gap* original no cenário de referência tenha sido um padrão temporal e espacial de climatização específico e não a pobreza energética da população. A diferença de energia não era muito significativa, visto que os pressupostos deste cenário menos severo permitiram imediatamente eliminar essa diferença. A distribuição dos *gaps* de aquecimento por intervalo de *gap* pode ser observada na Figura 4.24. O valor médio dos *gaps* de aquecimento situa-se nos 52%.

Relativamente ao arrefecimento, os valores do *gap* sofreram naturalmente uma redução, mas continua-se a registar percentagens muito significativas em freguesias de todas as regiões do país. A maioria das freguesias, 62%, tem valores de *gap* iguais ou superiores a 79%. Verifica-se que a concentração de freguesias com percentagens de *gap* dentro desta gama é superior no interior do país, sendo que as zonas litorais apresentam *gaps* mais reduzidos. A maioria das freguesias da Região Autónoma dos Açores apresentam um *gap* superior a 50%. Na Madeira, a situação é mais favorável, com *gaps* de menor magnitude. Os menores *gaps* verificam-se na área metropolitana do Porto, de Lisboa e na região Oeste. A distribuição do número de freguesias por gama de *gap* de arrefecimento pode ser observada na Figura 4.25. Como se pode verificar, neste cenário nenhuma freguesia teve o seu *gap* de arrefecimento anulado e a maioria (cerca de 60%) continua a apresentar um *gap* superior ou igual a 79%. O *gap* médio de arrefecimento das freguesias é de 76%.

Sunikka-Blank e Galvin (2012) chegaram à conclusão no seu estudo sobre o efeito “*prebound*”, que se verifica frequentemente uma discrepância de 30% (valor calculado para os edifícios alemães) entre as previsões teóricas e o verdadeiro consumo. Neste cenário “Conservador”, é

testada uma redução percentual média das necessidades que ultrapassa os 30%. Ainda assim, nos resultados obtidos neste cenário, 80% das freguesias possui ainda um *gap* energético de aquecimento, sendo que a percentagem do total das freguesias com *gap* de arrefecimento é ainda superior, correspondente a 100%. O *gap* do país situa-se nos 55 e 71% para o aquecimento e arrefecimento respetivamente. O resultado desta comparação poderia ser considerado um indicador de que o *gap* de grande parte das freguesias resulta realmente da incapacidade das populações para manterem as suas habitações a uma temperatura adequada, e não apenas resultado de padrões de comportamento de climatização. No entanto, é importante salientar que a climatização em Portugal se efetua de forma distinta comparativamente à Alemanha, na medida em que este uso de energia não assume a mesma relevância ou magnitude, pelas características climáticas dos dois países. Assim, pode-se ainda conjecturar que estes *gaps* poderão ser resultado de um padrão temporal e espacial de climatização, planeado pelos residentes das habitações.

Este cenário é denominado conservador pois, apesar da redução da área e duração de climatização e ainda da falta de informação estatística sobre os hábitos de climatização dos portugueses, é assumido que os valores dos parâmetros são ainda algo elevados para a forma como a climatização é efetuada no país. Poderia, no entanto, não ser conservador para um país como a Alemanha, tendo em conta que a intensidade de climatização é mais acentuada nessa região da Europa.

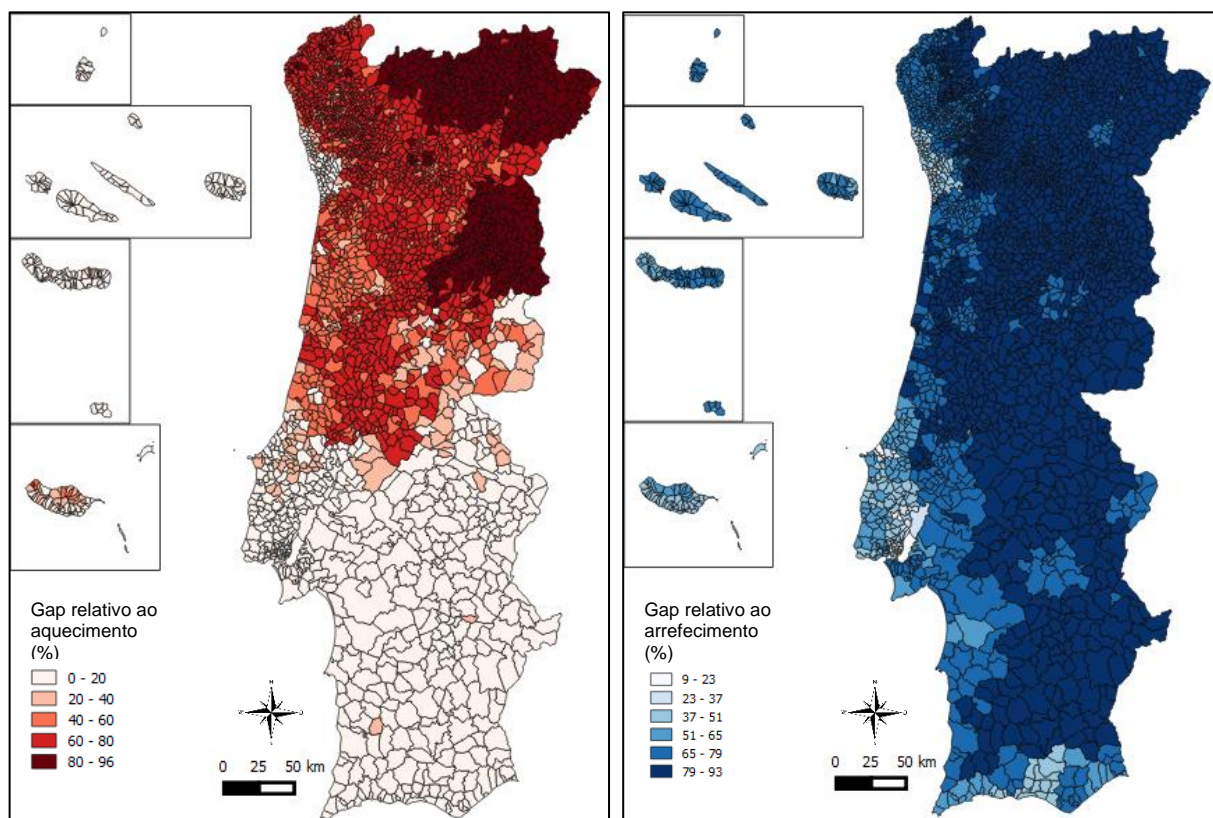


Figura 4.23 – *Gap* (%) relativo ao aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), no cenário “Conservador”, por freguesia

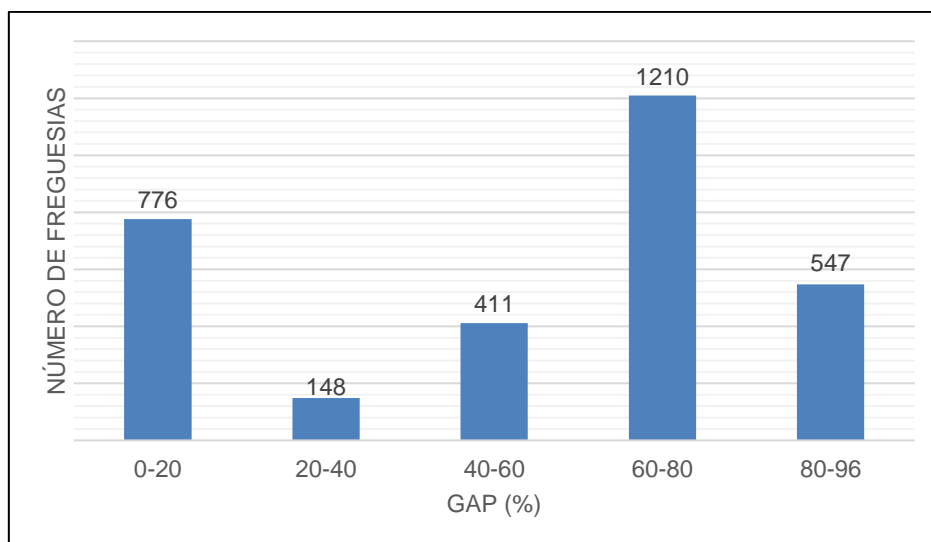


Figura 4.24 - Número de freguesias por intervalo de *gap* de aquecimento

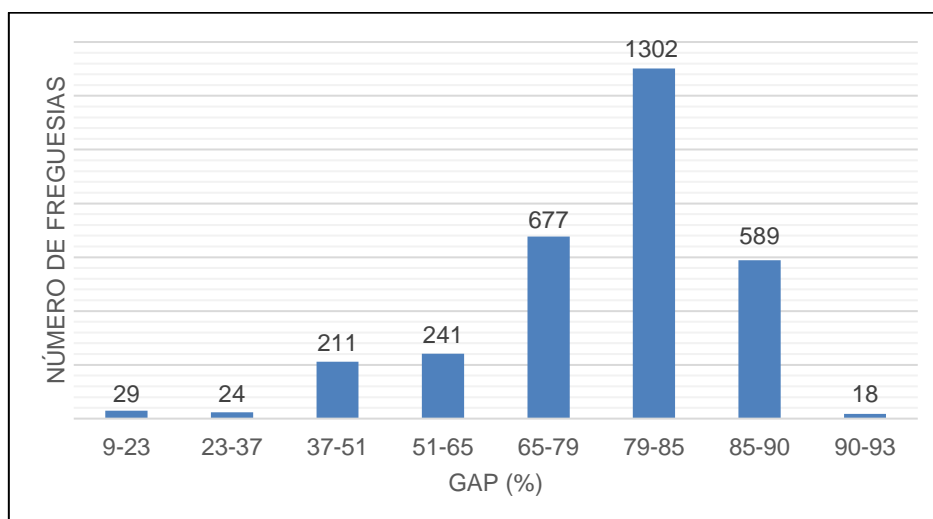


Figura 4.25 - Número de freguesias por intervalo de *gap* de arrefecimento

4.3.3. Cenário “Atual”

No cenário “Atual”, as reduções de área e duração da área climatizada foram de maior magnitude do que no cenário “Conservador”. No entanto, a proporção de redução entre as zonas climáticas foi a mesma, pelo que a distribuição das necessidades de energia final é praticamente igual, variando apenas os valores em si, mais reduzidos neste cenário devido à menor área e duração consideradas. Os mapas das necessidades de energia final de acordo com os pressupostos deste cenário podem ser consultados na Figura 4.26. Os mapas dos *gaps* em valor absoluto de aquecimento e arrefecimento encontram-se ilustrados, por sua vez, na Figura 4.27. No que respeita ao aquecimento, verifica-se que a grande maioria das freguesias possui um consumo superior às necessidades. Apenas as freguesias das regiões Beiras e Serra das Estrela, Terras de Trás-os-Montes, Alto Tâmega e parte do Alto Minho registam ainda necessidades superiores aos consumos. Relativamente ao arrefecimento, apesar das reduções propostas neste cenário,

a maior parte das freguesias ainda apresenta necessidades superiores aos consumos, excetuando em grande parte da costa portuguesa, nomeadamente as áreas metropolitanas do Porto e Lisboa, parte do Alentejo litoral e o Algarve, precisamente as regiões que apresentam maior consumo. De forma a colmatar os *gaps* que ainda persistem neste cenário, o consumo deveria ser superior em cerca de 33% e 52% do consumo registado em 2013.

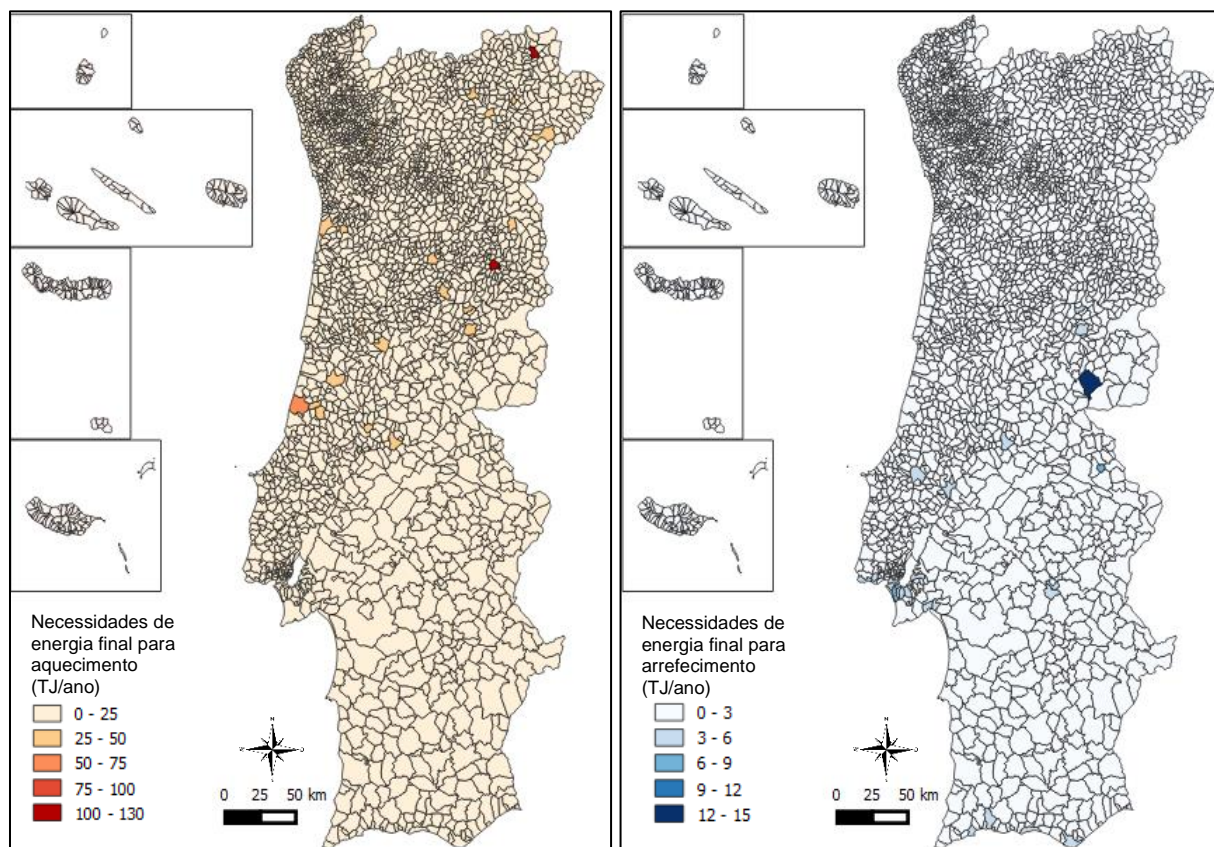


Figura 4.26 - Necessidades anuais de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) no cenário "Atual" por freguesia (TJ/ano)

O mapa do *gap* percentual de aquecimento, relativo a este cenário (Figura 4.28), reforça a ideia de vulnerabilidade das regiões das Beiras e Serra da Estrela, Terras de Trás-os-Montes e Alto Tâmega, mais particularmente dos distritos da Guarda, Bragança e Vila Real, na medida em que as freguesias destas regiões apresentam *gaps* de valor igual ou superior a aproximadamente 50%, consideravelmente superiores ao valor médio dos *gaps* de aquecimento das freguesias (11%). Estas freguesias representam cerca de 13% do total (Figura 4.29). Estes resultados afastam a possibilidade de os menores valores de aquecimento se deverem a um padrão específico premeditado de aquecimento, sem prejuízo do conforto térmico. Após a redução mais severa da área aquecida e duração de climatização, representada neste cenário, o facto de os valores de *gap* ainda serem significativos nestas regiões é um provável sintoma de incapacidade de aquecer as habitações, causada por pobreza energética das populações. Algumas freguesias do Alto Minho poderão sofrer do mesmo problema, visto que apresentam *gaps* ainda consideráveis. As freguesias das restantes zonas do país apresentam *gap* igual a 0 ou de valor reduzido. Um total de 75% das freguesias apresentam um *gap* igual a 0 neste cenário. No caso

destas freguesias, a hipótese de se tratar de um padrão de aquecimento definido pelos ocupantes dos alojamentos pode ser colocada, embora não seja provada por estes resultados, até porque a redução da área e duração de climatização foi considerável, não havendo certeza de que seja suficiente para garantir o conforto térmico para todas estas freguesias. Mais estudos sobre a matéria seriam necessários para comprovar esta hipótese, analisando cada freguesia e zona de forma mais particular e detalhada.

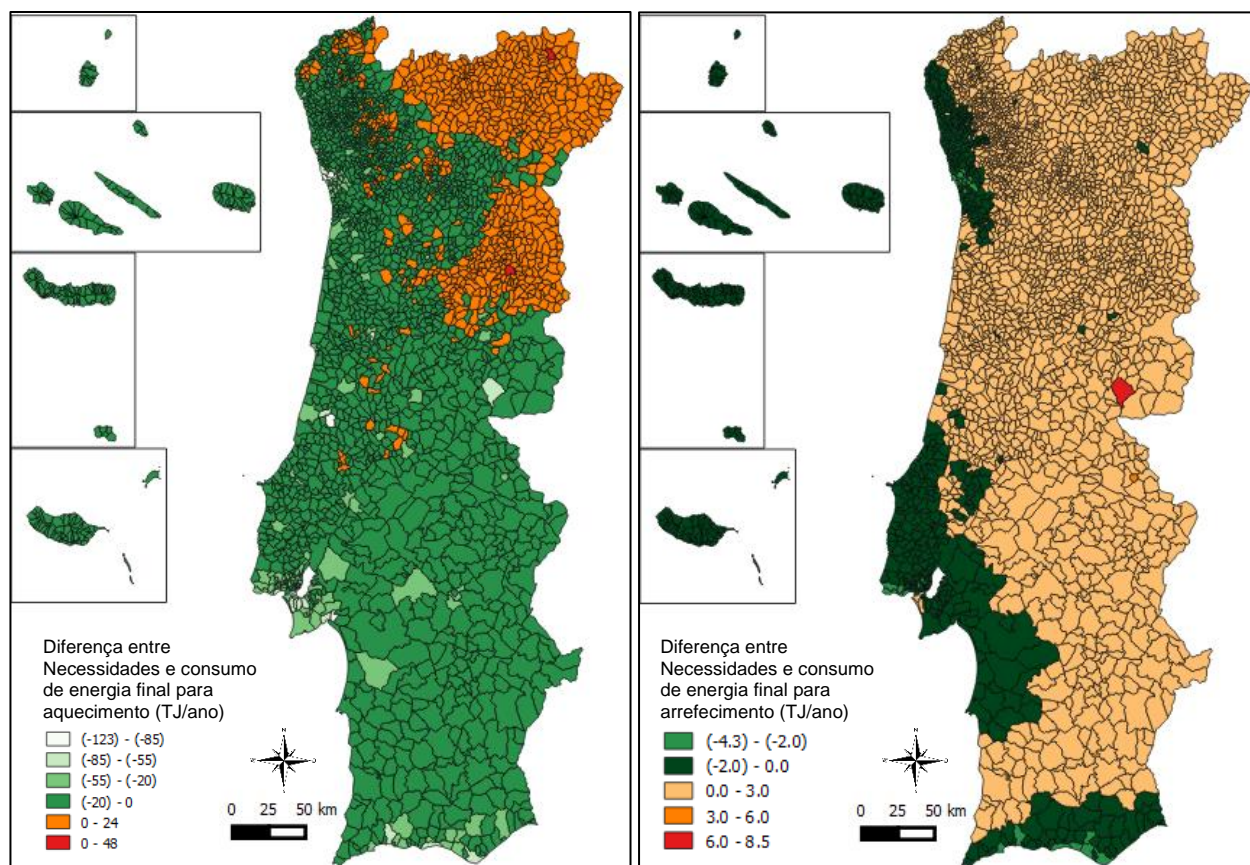


Figura 4.27 - *Gap* de valor absoluto entre as necessidades e consumo de energia final para aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita), no cenário "Atual" (TJ/ano), por freguesia

A situação é ainda mais preocupante no que respeita o arrefecimento, pois existem freguesias com elevadas percentagens de *gap* em maior número de regiões do país (Figura 4.28). O interior de Portugal, quer seja norte, centro ou sul, é a região onde se concentra o maior número de freguesias com *gap* significativo. Apesar de um menor número de freguesias (7% do total) possuir um *gap* superior a 50%, cerca de 1344 freguesias (44% do total) possui um *gap* igual ou superior a 28% (Figura 4.30). Apenas 25% das freguesias registou um *gap* zero de acordo com as condições deste cenário. O *gap* médio de arrefecimento das freguesias é de 23%.

Estes valores significativos de *gap* de arrefecimento remontam às muito reduzidas taxas de posse de equipamentos para este propósito, que resultam em consumos muito pouco significativos e *gaps* maiores. Por outro lado, em Portugal, é comum a utilização de um sistema de ventilação misto (ventilação mecânica e natural), o que resulta em consumos naturalmente mais reduzidos. Parte dos alojamentos são arrefecidos com uso apenas a ventilação natural, que constitui uma preferência ditada por questões culturais no país. Este tipo de tradições culturais

faz emergir padrões distintos de climatização em diferentes regiões e diferentes países da União Europeia. O *gap* de arrefecimento é, no fundo, um problema de carácter mais generalizado do que o *gap* de aquecimento, em Portugal, estando igualmente relacionado com a pobreza energética que assola a população e que constitui igualmente um problema sério, quer na estação de aquecimento, quer na estação de arrefecimento.

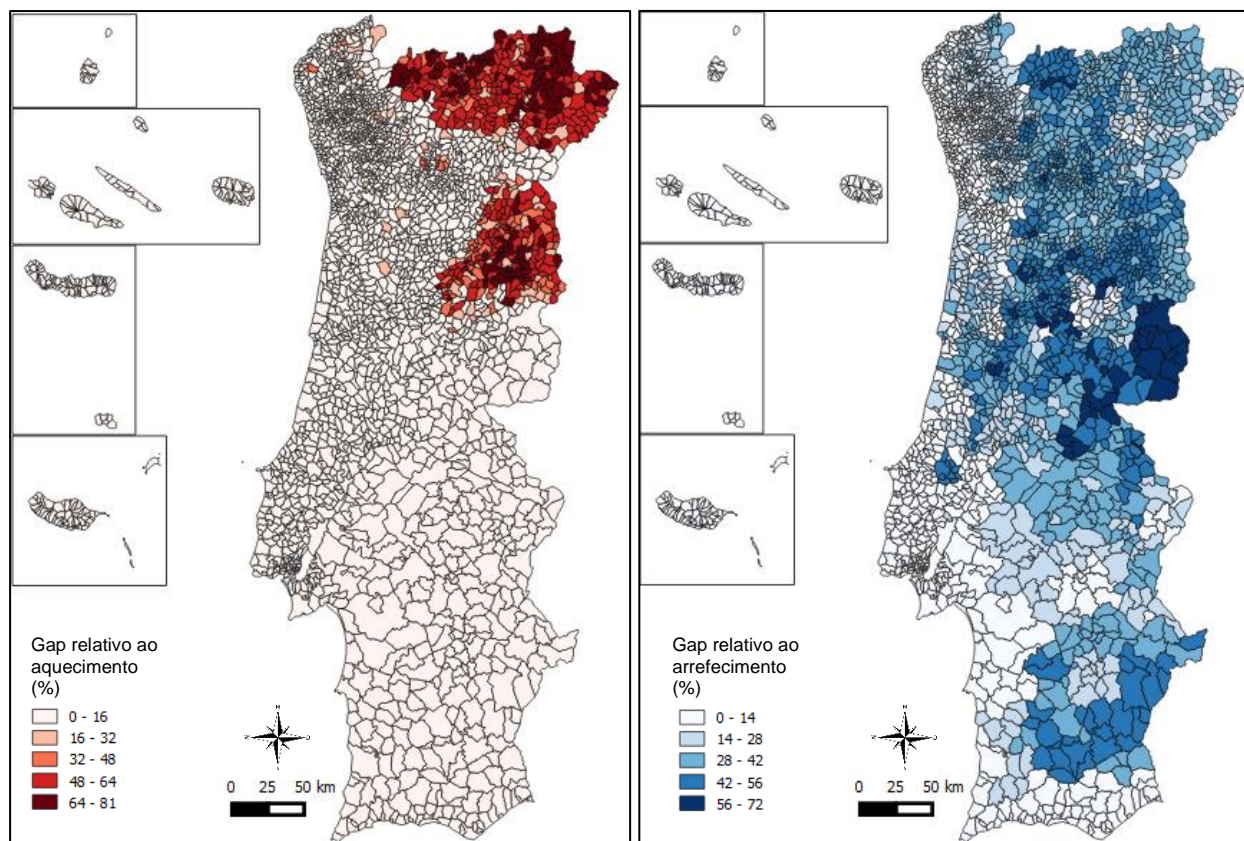


Figura 4.28 - Gap de aquecimento (esquerda) e arrefecimento (direita) (%) no cenário "Atual", por freguesia

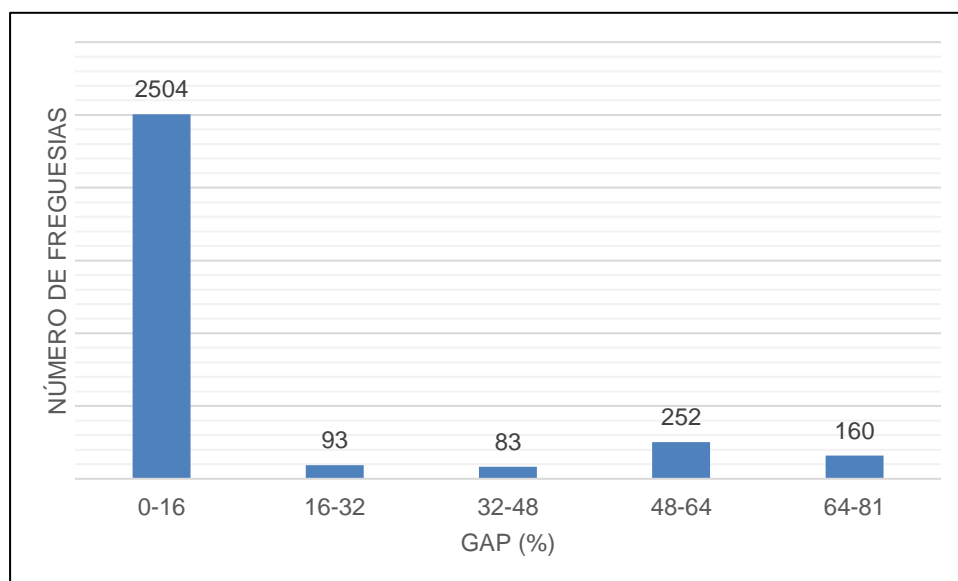


Figura 4.29 - Número de freguesias por intervalo de *gap* de aquecimento no cenário "Atual"

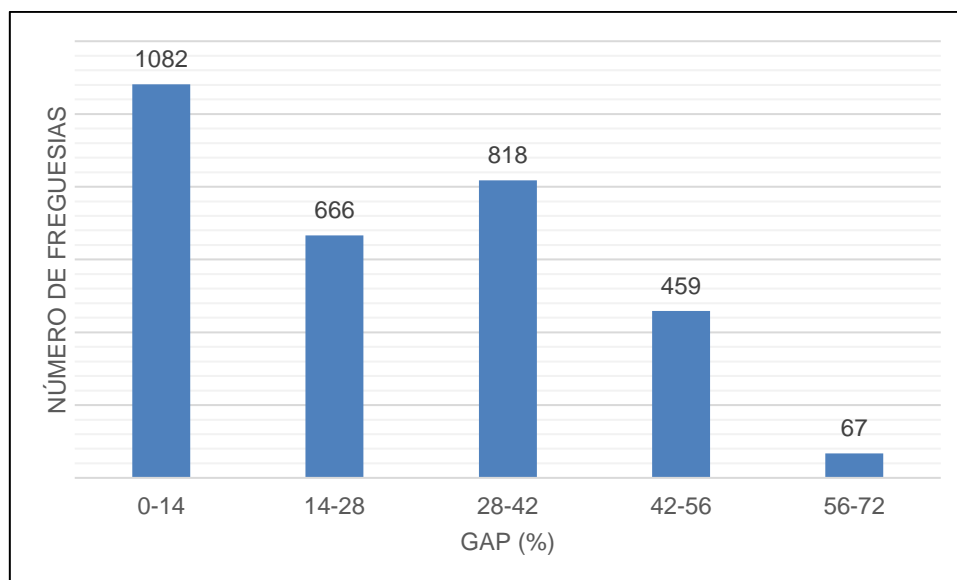


Figura 4.30 - Número de freguesias por intervalo de *gap* de arrefecimento no cenário "Atual"

Analisando a relação entre os *gaps* de aquecimento e arrefecimento nos três cenários, verifica-se que no cenário de referência (Figura 4.31), apesar de todas as freguesias apresentarem valores consideravelmente elevados, as freguesias com maiores *gaps* de aquecimento e arrefecimento se encontram-se na zona climática V2 I3. É nesta região que as necessidades de energia para aquecimento são mais elevadas e o consumo de energia final para arrefecimento é mais reduzido, o que resulta num *gap* de arrefecimento igualmente assinalável. Por sua vez, a zona V3 I1 é de maior dimensão, abrangendo freguesias com diferentes características relativamente às áreas das tipologias, parâmetros construtivos e também número de alojamentos, pelo que os *gaps* das freguesias desta zona apresentam valores mais diferenciados. Nos gráficos de relação de *gaps* relativos aos cenários "Conservador" (Figura 4.32) e "Atual" (Figura 4.33), observa-se o efeito da redução da área e duração de climatização nos valores de *gap*. As freguesias da zona V2 I3 apresentam o menor impacto no *gap*, nos dois cenários, pois as condições da estação de aquecimento são severas e a estação de arrefecimento exige consumos energéticos relativamente consideráveis. As zonas V3 I1 e V2 I1 apresentam as maiores percentagens de redução, com os *gaps* de várias das freguesias que se situam nestas zonas a serem anulados nestes cenários. De forma geral, os *gaps* de aquecimento são reduzidos de forma mais substancial, devido ao facto de os consumos efetivos de aquecimento serem de maior magnitude que os de arrefecimento. Pelo facto de os consumos de arrefecimento serem residuais em grande parte das freguesias, a sua distância para as necessidades é mais difícil de anular, mesmo reduzindo de forma significativa os valores dos parâmetros que determinam o valor final das necessidades.

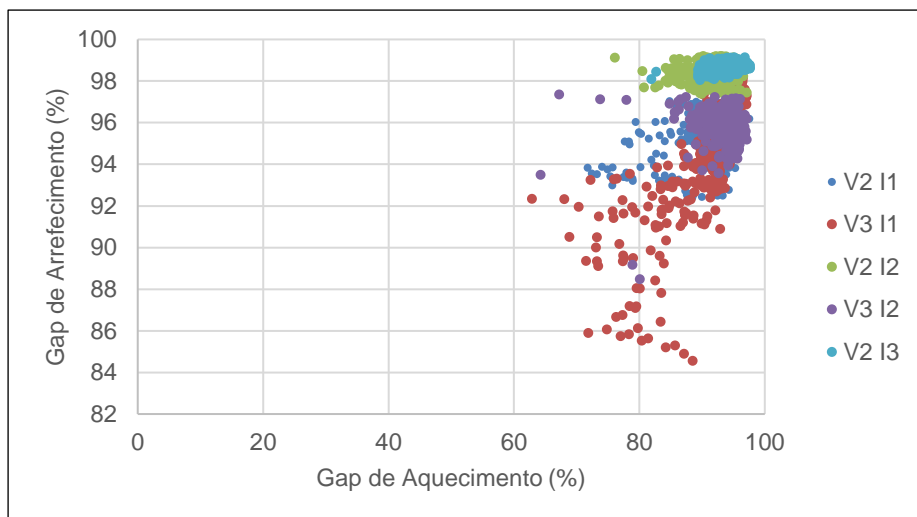


Figura 4.31 - Relação do *gaps* de aquecimento e arrefecimento do total das freguesias no cenário de referência, por zona climática

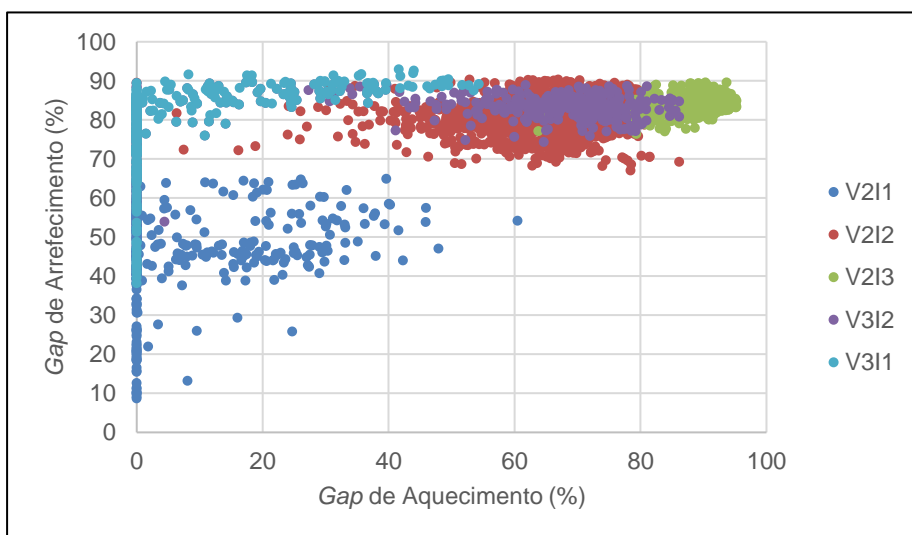


Figura 4.32 – Relação dos *gaps* de aquecimento e arrefecimento do total das freguesias no cenário "Conservador", por zona climática agregada

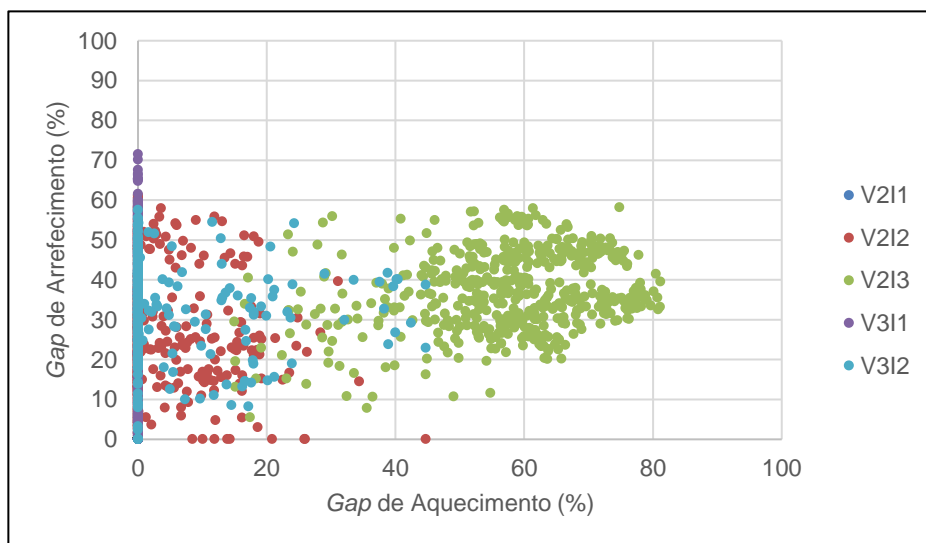


Figura 4.33 - Relação dos *gaps* de aquecimento e arrefecimento das freguesias no cenário "Atual", por zona climática agregada

Como refere Magalhães (2016), a comparação entre as necessidades e o consumo efetivo, particularmente através da análise do *gap*, é um exercício bastante útil para avaliar se as condições de referência para o conforto térmico estão a ser cumpridas. No entanto, para avaliar o conforto térmico de forma mais direta, é importante proceder-se a uma caracterização das temperaturas interiores, verificando se estas se encontram dentro dos valores recomendáveis, ou a uma avaliação da perceção do conforto térmico pelos ocupantes, utilizando métodos como o PMV/PPD. A avaliação do *gap* entre necessidades e consumo é igualmente relevante pois constitui um indicador da evolução do consumo de energia para aquecimento e arrefecimento, direcionando as políticas energéticas futuras, a reabilitação de alojamentos já existentes e o design de novas habitações (Magalhães, 2016), no sentido de garantir as condições de conforto térmico de forma mais eficiente possível.

5. Conclusões

A União Europeia definiu a redução do consumo de energia e aumento da eficiência energética como objetivos da política energética para as próximas décadas. Os edifícios são um alvo destas políticas, pois correspondem a um dos maiores consumidores de energia final nos Estados-Membros. De todos os usos de energia num edifício, o aquecimento e o arrefecimento de espaço ocupam um lugar de destaque, por representarem uma considerável quota da energia consumida nos edifícios, e também pela importância que assumem para a saúde e bem-estar dos ocupantes. Neste contexto, o conforto térmico é um fator imprescindível na vida das pessoas, pelo que o objetivo de redução do consumo de energia não deve colocar em causa a provisão dos serviços energéticos que o proporcionam.

Em Portugal, o baixo desempenho energético dos edifícios e um consumo de energia pouco significativo para a climatização no setor residencial, aliados a vários indicadores que apontam no sentido da ocorrência de uma taxa elevada de pobreza energética na população, levam a considerar que as condições de conforto térmico poderão não estar a ser garantidas. Neste sentido, este trabalho analisa o ambiente térmico nos alojamentos residenciais em Portugal. A abordagem baseou-se na determinação da diferença ou *gap* entre as necessidades de energia final de climatização que asseguram a temperatura interior de referência de conforto térmico e do consumo efetivo de energia final, para todas as freguesias portuguesas. As necessidades foram determinadas segundo uma metodologia *bottom-up*, a partir de tipologias de edifícios, enquanto o consumo efetivo foi obtido através de uma abordagem metodológica *top-down*, a partir dos consumos municipais, referentes ao setor residencial. Foi ainda efetuada uma análise de sensibilidade do valor das necessidades para diferentes padrões de tempo e área de climatização, tendo sido analisados dois cenários.

Poucos são os autores que se dedicaram à análise deste tema em Portugal. Este estudo efetua uma análise do conforto térmico nas habitações de uma forma diferente do convencional, na medida em que não são utilizados índices de conforto térmico nem se procede à realização de inquéritos. Para o cálculo das necessidades de energia final, os valores dos alojamentos utilizados tiveram de ser estimados para a nova divisão territorial, por número de pisos e data de construção, pois estes dados ainda não se encontram disponíveis nas estatísticas nacionais. Foi considerado um maior número de tipologias de edifícios comparativamente a estudos análogos, aumentando a representatividade do edificado e das suas características e permitindo a obtenção de valores de necessidades mais fidedignos. As necessidades de climatização foram calculadas de acordo com o mais recente regulamento de desempenho energético de edifícios (REH), o que constitui uma novidade. Outros autores tinham procedido ao cálculo das necessidades de climatização do país, mas de forma global e não ao nível de detalhe da freguesia, como é efetuado neste estudo. Salienta-se ainda o facto de terem sido calculadas as necessidades de energia útil e ter sido estudado o percurso até ao cálculo das necessidades de energia final, analisando a influência de cada um dos parâmetros utilizados no cálculo. Isto

permitiu apurar, para cada uma das freguesias, as causas subjacentes aos resultados obtidos e comparar as freguesias entre si. A acrescentar a isso, foram também estimados os consumos de energia final para climatização a nível da freguesia, utilizando taxas de energia final utilizada para aquecimento e arrefecimento por zona climática, ao contrário da prática usual de utilização das taxas nacionais. A determinação do *gap* em valor absoluto e percentual constitui uma ferramenta robusta, que permite igualmente a comparação entre as freguesias e o impacto que a sua mitigação destes *gaps* poderá ter para o país. O facto de se ter considerado a reorganização administrativa do território consistiu igualmente num fator de inovação, possibilitando a utilização dos dados no contexto atual. Os padrões de consumo analisados, através dos cenários, oferecem uma perspetiva mais realista das necessidades de aquecimento e arrefecimento para o conforto térmico no país.

Um trabalho efetuado com este nível de detalhe e para um âmbito tão alargado tem naturalmente várias fontes de incerteza associadas, relacionadas quer com os métodos empregues, quer com os dados utilizados. Para a estimativa das necessidades e dos consumos, foi necessário adotar assunções que introduzem naturalmente um erro nos resultados. É exemplo disso o processo de estimativa dos alojamentos, onde foi necessário assumir que as percentagens de edifícios residenciais são as mesmas para edifícios com o mesmo número de pisos, mas de diferentes períodos de construção, de forma a poder alocar os dados às diferentes tipologias. Algumas tipologias não tiveram como base a análise de uma família de edifícios, como o caso das tipologias assumidas para as ilhas, pelo que a representação dos edifícios que se englobam nessas tipologias, nomeadamente no que respeita aos valores dos parâmetros construtivos, terá um grau de imprecisão mais substancial. O facto de não se ter considerado todos os coeficientes de transferência de energia térmica no cálculo das necessidades contribui igualmente para uma estimativa menos precisa. Foi também assumido que todos os alojamentos que possuam algum equipamento de climatização, utilizam de facto esses equipamentos, o que pode não corresponder à realidade. Para contabilizar todos os alojamentos no cálculo das necessidades de energia final, foi necessário considerar uma taxa de posse igual a 100% e ainda assumir que a proporção das taxas de posse de equipamentos é igual para os alojamentos que não possuem qualquer equipamento. No cálculo dos consumos de aquecimento e arrefecimento para as freguesias, a utilização de percentagens de energia final para aquecimento e arrefecimento referentes a municípios particulares para inteiras zonas climáticas, apesar de ser constituir um aumento de detalhe em relação à utilização das taxas nacionais, introduz uma percentagem de erro nas estimativas, visto que dentro de cada zona climática há considerável variação. Todos estes procedimentos e pressupostos adotados deveram-se a limitações ao nível da disponibilidade de dados com o grau de detalhe pretendido. Esta foi, aliás, a principal dificuldade associada à realização deste trabalho.

Apesar de constituir um progresso significativo, na medida em que permite o estudo do conforto térmico e avaliação de situações de vulnerabilidade de forma mais localizada, este trabalho tem potencial de melhoria para estudos futuros. Essa melhoria depende, em grande parte, da disponibilidade de dados. Na maioria dos estudos que abordam os consumos de energia final, é

utilizado o ICESD, que, para além de provecto, fornece dados à escala de todo o país e não por regiões. Seria relevante a realização de inquéritos municipais, ou até ao nível da freguesia, para poder ter dados dos usos de energia final a essas escalas, e assim avaliar a situação de conforto térmico de forma mais precisa, com estimativas de maior qualidade. O ideal, no entanto, seria a modernização do edificado, particularmente em relação aos sistemas tecnológicos, com a instalação de contadores inteligentes, que possibilitassem conhecer os consumos desagregados por usos de energia final, tal como advogado na “Estratégia da União Europeia para o Aquecimento e Arrefecimento”. Desta forma, não seria necessário proceder à estimação dos consumos, sendo possível calcular os *gaps* de forma mais fidedigna. Para os consumidores, estes contadores teriam bastante utilidade, visto que poderiam avaliar e controlar os consumos de equipamentos e usos específicos e evitar gastos energéticos desnecessários. Esta é, no entanto, uma perspetiva a longo prazo, que abrangerá diversos *stakeholders* e que comportará um elevado investimento de recursos. Relativamente aos métodos utilizados, a estimativa das necessidades através da utilização da metodologia do mais recente regulamento do desempenho energético dos edifícios foi importante, pois é o método definido oficialmente, que deverá ser utilizado no planeamento e design do edifício. A sua utilização permite igualmente a comparação com os valores máximos definidos no regulamento. Contudo, este é um método estacionário, pelo que a realização de uma simulação dinâmica, onde poderia ser considerada a variação de diversos parâmetros, resultaria eventualmente na obtenção de estimativas com maior qualidade. No seguimento desta ideia, seria relevante mais informação sobre o edificado português, particularmente no que respeita à variação e diversidade de características e dos parâmetros construtivos, de forma a poder ser representado de forma mais precisa nos métodos de determinação das necessidades e assim se obter melhores estimativas. Tendo em conta o carácter adaptativo do conforto térmico, seria também relevante realizar um estudo que analisasse este problema através de uma abordagem de carácter mais subjetivo, que permita aferir diretamente o comportamento das pessoas em relação ao ambiente térmico e, acima de tudo, a sua aceitabilidade e adaptabilidade a este ambiente, com identificação de situações de conforto e desconforto. Preferencialmente, deveria ser realizado num contexto regional ou municipal, de forma a diferenciar as várias regiões do país e assim complementar este trabalho, corroborando ou contrariando as conclusões dele retiradas.

Os resultados obtidos permitiram identificar que as freguesias localizadas no interior norte, particularmente nas regiões Terras de Trás-os-Montes e Alto Tâmega, e na região central Beiras e Serra da Estrela são as que têm maiores necessidades nominais de energia útil para aquecimento, por alojamento. Relativamente ao arrefecimento, as freguesias situadas na Beira Baixa e em todo o Alentejo, exceto no litoral, apresentam os maiores valores de necessidades nominais de energia útil, por alojamento. Considerando a área, número de alojamentos e taxas de posse, as maiores necessidades de energia final, passam a estar principalmente associadas às freguesias situadas nos maiores centros urbanos, como Lisboa e Porto. Os resultados confirmaram que, de facto, para o cenário de referência, onde 100% da área dos alojamentos é climatizada, durante 24 horas diárias, as necessidades de energia final são consideravelmente

superiores aos consumos, verificando-se um *gap* global do país de 92 e 96% para o aquecimento e arrefecimento, respetivamente. Os resultados dos cenários permitiram identificar os distritos da Guarda, Bragança e Vila Real como os mais vulneráveis na estação de aquecimento, onde grande número de freguesias apresenta *gaps* superiores a 50%, mesmo no cenário “*Atual*”, que considera a maior redução da área aquecida e duração do aquecimento na estimativa das necessidades. No arrefecimento, o problema é mais generalizado, visto que existe um considerável número de freguesias (cerca de 20% do total), distribuídas por várias regiões do país, que apresenta um *gap* significativo, superior a 40%. O distrito de Castelo Branco destaca-se como o mais vulnerável, possuindo o maior número de freguesias com *gap* superior a 50%.

Os resultados deste estudo trazem à luz um problema real que afeta atualmente a população portuguesa. De um ponto de vista global do país, este estudo fornece dados sobre o esforço energético absoluto necessário para que toda a população tenha acesso a condições de conforto térmico, pois são contabilizados os valores das necessidades para todas as freguesias. Permite identificar as regiões mais críticas, e oferece hipóteses sustentadas das causas que justificam o *gap* dessas regiões, possibilitando uma ação ou implementação de instrumentos ou políticas de mitigação de forma localizada. Devido ao seu nível de detalhe, os resultados poderão constituir uma ferramenta importante a nível de política local. Tão ou mais relevante que a determinação dos *gaps* de conforto térmico, é compreender as suas causas. Como referido, este trabalho fornece informação que permite conjecturar, com algum grau de confiança, sobre essas causas. Porém, não pode oferecer evidência clara e indelével sobre o que está por detrás destes *gaps*. As suas causas são frequentemente de várias naturezas, sendo que algumas das quais se encontram fora do âmbito deste trabalho. Verifica-se que cada freguesia pode constituir um caso distinto, visto que as causas do problema podem variar até dentro do mesmo município.

No contexto atual do país, é necessário proceder-se a uma análise das políticas e ações para colmatar o *gap* de conforto térmico, tentativamente para toda a população. As políticas europeias apontam no sentido da redução do consumo através do aumento da eficiência energética. Alguns instrumentos legislativos nacionais, como o regulamento REH, assumem já um efeito mitigador deste problema, na medida em que promove a reabilitação de edifícios antigos e construção de novos edifícios com requisitos mais exigentes de eficiência energética. Existem também vários incentivos fiscais à reabilitação construtiva dos edifícios, como a isenção do Imposto Municipal sobre Imóveis (IMI) durante um determinado período de tempo. Contudo, será necessário avaliar se as medidas de eficiência serão suficientes para colmatar as necessidades de climatização da população, ou se terá de ocorrer um aumento do consumo de energia final, que iria contra os objetivos desejados. Tendo em conta os elevados níveis de pobreza energética, esta afigura-se potencialmente como a mais forte causa da falta de conforto térmico, sendo um problema de difícil resolução. Juntamente com as medidas de reabilitação do edificado e aumento da eficiência dos equipamentos de climatização, será fundamental um esforço para mitigar este problema, de forma a devolver à população a possibilidade e capacidade de manter as suas habitações a temperaturas adequadas que não coloquem em causa a sua saúde e bem-estar.

6. Referências Bibliográficas

AdePorto, Edifícios Saudáveis Consultores, Lda, TREMNO. (2008). Matriz Energética do Porto. Agência de Energia do Porto. Câmara Municipal do Porto. Porto, Portugal.

AEMet/IM. (s/d). *Atlas Climático Ibérico*. Disponível em: http://www.ipma.pt/resources/www/docs_pontuais/ocorrencias/2011/atlas_clima_iberico.pdf, consultado a: 4/04/2017

AGENEAL, CMA. (2011). Estudos de Caracterização do Território Municipal. Caderno 3: Sistema de Energia. Agência de Energia de Almada. Câmara Municipal de Almada Almada, Portugal

Akande, O. K., Adebamowo, M.A. (2010). Indoor Thermal Comfort for Residential Buildings in Hot-Dry Climate of Nigeria. Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010. London: Network for Comfort and Energy Use in Building

Al Horra, Y., Arifb, M., Katafygiotoua, M., Mazroei, A., Kaushikb, A., Elsarraga, E. (2016). Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature. *International Journal of Sustainable Built Environment* 5, pp 1-11

America, P., van de Laar, P., Muller, G. (2012). Experiences in evolvability research, *Adv. Eng. Inform* 26, pp 478–486

Atanasiu, B., Kontonasiou, E., Mariottini, F. (2014). Alleviating fuel poverty in the EU—investing in home renovation: a sustainable and inclusive solution. Technical Report prepared by Buildings Performance Institute Europe.

Atsalis, A., Mirasgedisb, S., Tourkoliasa, C., Diakoulakia, D. (2016). Fuel poverty in Greece: Quantitative analysis and implications for policy. *Energy and Buildings* 131, pp 87–98

Barbosa, R., Vicente, R., Santos, R. (2015). Climate change and thermal comfort in Southern Europe housing: A case study from Lisbon. *Building and Environment* 92, pp 440-451

Barnett, A. G., Dobson, A. J., McElduff, P., Salomaa, V., Kuulasmaa, K., Sans, S. (2005). Cold periods and coronary events: an analysis of populations worldwide. *Journal of Epidemiology and Community Health* 59, pp 551–557

Bell, M., Wingfield, J., Miles-Shenton, D., Seavers, J. (2010). LowCarbon Housing: Lessons from Elm Tree Mews. Joseph Rowntree Foundation. York

Bernardo, J. (2015), *Estratégia para a Eficiência Energética nos Edifícios Públicos*. Workshop: RePublic_ZEB. Direcção Geral de Energia e Geologia. Lisboa

Birol, F. (2007). Energy Economics: A Place for Energy Poverty in the Agenda?. *The Energy Journal* 28(3), pp 1–6.

Boardman, B. (1991). *Fuel poverty: from cold homes to affordable warmth*. Belhaven Press, London

Bouzarovski, S. (2014). Energy poverty in the European Union: landscapes of vulnerability. *WIREs Energy Environ* 3, pp 276–289

Braulio-Gonzalo, M., Bovea, M.D., Ruá, M.J., Juan, P. (2016). A methodology for predicting the energy performance and indoor thermal comfort of residential stocks on the neighborhood and city scales. A case study in Spain. *Journal of Cleaner Production* 139, pp 646-665

Burman, E., Mumovic, D., Kimpian, J. (2014). Towards measurement and verification of energy performance under the framework of the European directive for energy performance of buildings. *Energy* 77, pp 153-163

Cabeza, C. (2011). Opinion of the European economic and social committee on energy poverty in the context of liberalization and the economic crisis (exploratory opinion), Off.J.Eur.Union (2011/C44/09).

Calì, D., Osterhage, T., Streblow, R., Müller, D. (2016). Energy performance gap in refurbished German dwellings: Lesson learned from a field test. *Energy and Buildings* 127, pp 1146–1158

Camelo, S., Santos, C. P., Ramalho, A., Horta, C., Gonçalves, H., Maldonado, E. (2006). Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios – Manual de Apoio à Aplicação do RCCTE. INETI. Lisboa

CAOP. (2013). *População residente por freguesia, Censos 2011*. Carta Administrativa Oficial de Portugal. Direção Geral do Território.

Chung, M., Park, H. (2010). Development of a software package for community energy system assessment—Part I: building a load estimator, *Energy* 35, pp 2767–2776.

Clarke, J. (2001). *Energy Simulation in Building Design*, Butterworth-Heinemann. Oxford

Comissão Europeia. (2007). *Health Inequalities Glossary*. Expert group on social determinants and health inequalities. Background document for meeting on 7 May 2007. Brussels

Comissão Europeia. (2011). *Roteiro para a Energia 2050*. Comunicação da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao comité económico e social europeu e ao comité das regiões. COM(2011) 885 final. Bruxelas

Comissão Europeia. (2016a). *An EU Strategy on Heating and Cooling*. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. COM(2016) 51 final. Bruxelas

Comissão Europeia. (2016b). *Commission staff working document - Review of available information Part 2/2*. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an EU Strategy for Heating and Cooling. SWD(2016) 24 final. Brussels

Comissão Europeia. (2016c). *Commission staff working document - Review of available information Part 1/2*. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an EU Strategy for Heating and Cooling. SWD(2016) 24 final. Brussels

Comissão Europeia. (2017a). *Energy Strategy and Energy Union: Overview*. Energy. Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union>, consultado a: 4/04/2017

Comissão Europeia. (2017b). *Buildings. Topics - Energy Efficiency* Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings> , consultado a: 4/04/2017

Comissão Europeia. (2017c). *Energy. International Action on Climate Change – EU Action Areas*.
Comissão Europeia Disponível em:

https://ec.europa.eu/clima/policies/international/paris_protocol/energy_en, consultado a: 4/04/2017

Comissão Europeia. (2017d). 2050 Energy Strategy. Topic: Energy Strategy and Energy Union. Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2050-energy-strategy>, consultado a: 4/04/2017

Coutinho, R. (2014). *Relação entre o regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação com o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia*. Dissertação de mestrado. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto

Cox, R. A., Drews, M., Rode, C., Nielsen, S. B. (2015). Simple future weather files for estimating heating and cooling demand. *Building and Environment* 83, pp 104-114

Crawford, V.L.S., McCann, M., Stout, R.W. (2003). Changes in seasonal deaths from myocardial infarction. *Quarterly Journal of Medicine* 96, pp 45–52.

Dalin, P., Nilsson, J., Rubenhag, A. (2005). Ecoheatcool. Work Package 2. The European Cold Market. Final Report. Brussels.

Dall'O', G., Sarto, L., Galante, A. Pasetti, G. (2012). Comparison between predicted and actual energy performance for winter heating in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy). *Energy and Buildings* 47, pp 247–253

Dasgupta, A., Prodromou, A., Mumovic, D.(2012). Operational versus designed performance of low carbon schools in England: bridging a credibility gap, *HVAC&R Res.* 18, pp 37–50.

De Rosa, M., Bianco, V., Scarpa, F., Tagliafico, L. A. (2015). Historical trends and current state of heating and cooling degree days in Italy. *Energy Convers Manage* 90, pp 323–335.

Decreto Lei nº22/2012, de 30 de maio, Aprova o regime jurídico da reorganização administrativa territorial autárquica

Decreto-Lei n.º 39/2013 de 18 Março, Define metas nacionais de utilização de energia renovável no consumo final.

Decreto-Lei n.º 79/2006, Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios.

Decreto-Lei n.º 80/2006, Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Decreto-Lei nº 118/2013, Aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, e transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios

Decreto-Lei nº 78/2006, Aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios e transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Desroches, G. V., Benchenna, P., Zambelli, L., Dallemagne, A. (2015). Resolving Fuel Poverty in Europe: Understanding the Initiatives and Solutions. Schneider Electric, Technical Paper

DGEG (2017). Estatística e Preços – Estatística da Energia. Directorate for Energy and Geology. Lisbon. Portugal. Disponível em: www.dgeg.pt. Consultado a 4/04/2017

DGT. (2016). *Carta Administrativa Oficial e Portugal Versão de 2016*. Direção Geral do território.

Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios. Parlamento Europeu e o Conselho Da União Europeia.

Diretiva 2009/72/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 13 de Julho de 2009 que estabelece regras comuns para o mercado interno da eletricidade e que revoga a Diretiva 2003/54/CE

Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)

Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro de 2012 relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE

Djongyang, N., Tchinda, R., Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, pp 2626–2640

EPEE. (2009). *European Fuel Poverty and Energy Efficiency*. European Partnership for Energy and the Environment. Intelligent Energy Europe. Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/epee_european_fuel_poverty_and_energy_efficiency_en.pdf, consultado a: 4/04/2017

EU Fuel Poverty Network. (2017). *Homepage*. EU Fuel Poverty Network Disponível em: <http://fuelpoverty.eu/>, consultado a: 4/04/2017

Eurostat. (2015). *Database: Income and Living Conditions*. Eurostat. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/income-and-living-conditions/data/database>, consultado em: 4/04/2017

Eurostat. (2016). *Energy balances – 2016 Edition*. Eurostat. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>, consultado a: 4/04/2017

Eurostat. (2017). *Energy balances – 2017 Edition*. Eurostat. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>, consultado a: 4/04/2017

Fabbri, K. (2015). A Brief History of Thermal Comfort: From Effective Temperature to Adaptive Thermal Comfort. *Indoor Thermal Comfort Perception*, pp 7-23

Fanger, P. (1970). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen Danish Technical Press

Fanger, P.O. (1972). *Thermal comfort*. Analysis and applications in environmental engineering. McGraw-Hill. New York

Ferreira, M. (2012). *Consumo Doméstico de Biomassa Lenhosa e Emissões Atmosféricas na Cidade de Bragança*. Dissertação de mestrado. Escola Superior Agrária. Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, Portugal.

Giannakopoulos, C., Hadjinicolaou, P., Zerefos, S. C., Demosthenous, G. (2009). Changing energy requirements in the Mediterranean under changing climatic conditions. *Energies* 2, pp 805–815.

- González-Eguino, M. (2015). Energy poverty: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47, pp 377–385
- Gouveia, J. P., Fortes, P., Seixas, J. (2012). Projections of energy services demand for residential buildings: Insights from a bottom-up methodology. *Energy* 47, pp 430-442
- Gram-Hansen, K. (2010) Residential heat comfort practices: understanding users. *Building Research & Information* 38, pp 175–186
- Gram-Hansen, K. (2011). Households' energy use – which is the more important: efficient technologies or user practices. Proceedings of the World Renewable Energy Congress 2011, Linköping, Sweden
- Guan, L. (2009). Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings. *Building and Environment* 44, pp 793–800
- Guerra-Santin, O., Itard, L. (2010). Occupants' behaviour: determinants and effects on residential heating consumption. *Building Research & Information* 38, pp 318–338.
- Haas, R. Auer, H., Biermayr, P. (1998). The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating, *Energy Policy*, pp 195–205.
- Haghighat, F. (2009). Thermal comfort in housing and thermal environments. *Sustainable Built Environment* 1, pp 326-347
- Haldi, F., Robinson, D. (2008). On the behaviour and adaptation of office occupants, *Building and Environment* 43, pp 2163–2177
- Han, Y., Taylor, J. E., Pisello, A. L. (2017). Exploring mutual shading and mutual reflection inter-building effects on building energy performance. *Applied Energy* 185, pp 1556–1564
- Healy, J. D. (2003). Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors. *Epidemiol Community Health* 57, pp 784–789
- Hensen, J. L. M. (1991). On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system. PhD thesis. Technische Universiteit Eindhoven. Eindhoven
- Herrero, S. T., Ürge-Vorsatz, D. (2010). Fuel Poverty in Hungary: A first assessment. Central European University. Hungary
- Herrero, S. T., Ürge-Vorsatz, D., Petrichenko, K. (2013). *Fuel poverty alleviation as a co-benefit of climate investments: evidence from Hungary*. ECEEE summer study proceedings
- Hood, E. (2005). *Dwelling disparities: how poor housing leads to poor health*. *Environmental Health Perspectives* 113, pp 310–317.
- Howieson, S. G., Hogan, M. (2005). Multiple deprivation and excess winter deaths in Scotland. *Perspectives in Public Health* 125, pp 18–22.
- IEA (2016). *Energy Policies of IEA Countries – Portugal*. 2016 Review. International Energy Agency. France.
- INE (s/d). *Divisão Administrativa*. Instituto Nacional de Estatística Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_cont_inst&INST=6251013&xlang=pt, consultado em: 4/04/2017

INE. (2011). *População residente. Censos 2011*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal.

INE/DGEG (2011). *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*. Instituto Nacional de Estatística e Direção Geral de Energia e Geologia. Lisboa, Portugal

IPCC. (2001). *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. pp 457-460, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press

IPMA. (2017a). *Área educativa - Clima de Portugal Continental*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Disponível em:

<https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/index.jsp?page=clima.pt.xml>, consultado a: 4/04/2017

IPMA. (2017b). *Normas Climatológicas*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>, consultado a: 4/04/2017

IteCons. (2013). DL118/2013 de 20 de Agosto, Regulamento de Desempenho energético dos edifícios de habitação, Síntese da Regulamentação Aplicável (Decreto-Lei, Portaria e Despachos). Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências de Construção. Universidade de Coimbra

IteCons. (2015). *Ferramenta de Cálculo de Avaliação do Comportamento Térmico e do Desempenho Energético de Pequeno de Comércio e Serviços (PES) – Cálculo Dinâmico Simplificado (Monozona)*. Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade. Universidade de Coimbra

Jakubcionis, M., Carlsson, J. (2017). Estimation of European Union residential sector space cooling potential. *Energy Policy* 101, pp 225–235

Jentsch, M. J., Bahaj, A. S., James, P. A. B. (2008). Climate change future proofing of buildings - generation and assessment of building simulation weather files. *Energy and Buildings* 40, pp 2148-2168

Jylhä, K., Jokisalo, J., Ruosteenoja, K., Pilli-Sihvola, K., Kalamees, T., Seitola, T., Mäkelä, H. M., Hyvönen, R., Laapasa, M., Drebs, A. (2015). Energy demand for the heating and cooling of residential houses in Finland in a changing climate. *Energy and Buildings* 99, pp 104–116

Kavgic, M., Mavrogianni, A., Mumovic, D., Summerfield, A., Stevanovic, Z., Djurovic-Petrovic, M. (2010). A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Building and Environment* 45, pp 1683-1697.

Kazas, G., Fabrizio, E., Perino, M. (2015). Energy demand profiles assessment at district scale: a stochastic approach for a block of buildings demand profiles generation. *Energy Procedia* 78, pp 3410–3415

Kershaw, T., Eames, M., Coley, D. (2011). Assessing the risk of climate change for buildings: a comparison between multi-year and probabilistic reference year simulations. *Building and Environment* 46, pp 1303-1308

Kilbourne, E.M. (1997). *Heat waves and hot environments*. Noji EK, ed. The public health consequences of disasters, pp 245–69. Oxford University Press, New York

- Kohler, M. Blond, N., Clappier, A. (2016). A city scale degree-day method to assess building space heating energy demands in Strasbourg Eurometropolis (France). *Applied Energy* 184, pp 40–54
- Korjenic, A., Bednar, T. (2012). Validation and evaluation of total energy use in office buildings: a case study, *Automation and Construction* 23, pp 64–70
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z* 15, pp 259-263
- Kunkel, S., Kontonasiou, E. (2015). *Indoor air quality, thermal comfort and daylight policies on the way to nZEB – status of selected MS and future policy recommendations*. ECEEE Summer Study Proceedings.
- Leung, C., Ge, H. (2012). Sleep thermal comfort and the energy saving potential due to reduced indoor operative temperature during sleep, *Building and Environment* 59, pp 91–98
- Liddell, C., Morris, C. (2010). Fuel poverty and human health: A review of recent evidence. *Energy Policy* 38, pp 2987–2997.
- Lin, Z., Deng, S. (2008). *A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics — developing a thermal comfort model for sleeping environments*. Building and Environment 43, pp 70–80.
- Lopes, T. (2010). *Potencial de poupança de energia na climatização de edifícios habitacionais*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa
- Luber, G. L., McGehehin, M. (2008). Climate Change and Extreme Heat Events. *Am J Prev Med* 35, pp 429–435
- Magalhães, S. M. C. (2016). *The relationship between heating energy use, indoor temperature and heating energy demand under reference conditions in residential buildings*. Dissertação de doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto
- Magalhães, S. M. C., Leal, V. M. S. (2014). Characterization of thermal performance and nominal heating gap of the residential building stock using the EPBD-derived databases: The case of Portugal mainland. *Energy and Buildings* 70, pp 167–179
- Makinen, T. M., Juvonen, R., Jokelainen, J., Harju, T. H. H., Peitso, A., Bloigu, A., Silvennoinen-Kassinen, S., Leinonen, M., Hassi, J. (2009). Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections. *Respiratory Medicine* 103, pp 456-462
- Mastrucci, A., Baume, O., Stazi, F., Leopold, U. (2014). Estimating energy savings for the residential building stock of an entire city: a GIS-based statistical downscaling approach applied to Rotterdam. *Energy and Buildings* 75, pp 358–367.
- Menezes, C., Cripps, A., Bouchlaghem, D., Buswell, R. (2012). Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap, *Applied Energy* 97, pp 355–364.
- Mercer, J. B. (2003). Cold—an underrated risk factor for health. *Environmental Research* 92, pp 8–13.
- Möller, B. (2015). *Mapping the Heating and Cooling Demand in Europe*. Stratego – Enhanced Heating & Cooling Plans. Work Package 2. Background Report 5.

- Morant, M. (2012). *The Performance Gap – Non Domestic Building: Final Report* (CEW1005). Cardiff: AECOM/Constructing Excellence Wales
- Moreci, E., Ciulla, G., Lo Brano, V. (2016). Annual heating energy requirements of office buildings in a European climate. *Sustainable Cities and Society* 20, pp 81–95.
- Moustris, K. P., Nastos, P. T., Bartzokas, A., Larissi, I. K., Zacharia, P. T., Paliatsos, A. G. (2015). Energy consumption based on heating/cooling degree days within the urban environment of Athens, Greece. *Theoretical and Applied Climatology* 122: pp 517–529
- National Measurement Network. (2012). *The Building Performance Gap—Closing it through Better Measurement*, National Physical Laboratory, Teddington
- Newsham, G., Mancini, S., Birt, B. (2009). Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but..., *Energy and Buildings* 41, pp 897–905.
- Nicol, J. F. (1993). *Thermal comfort – a handbook for field studies toward an adaptive model*. University of East London. London
- Nicol, J. F., Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings* 34, pp 563-572
- Odyssee-Mure. (2016). *Households: Data and Energy Indicators*. Database, Enerdata. Odyssee-Mure.
- Ogbonna, A. C., Harris, D.J. (2008). *Thermal comfort in sub-Saharan Africa: field study report in Jos–Nigeria*. *Applied Energy* 85, pp 1–11.
- Oliveira, C. (2017). *Desenvolvimento de indicadores de energia e clima associados ao conforto climático em edifícios residenciais: Mapeamento em 29 municípios portugueses*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa
- O'Sullivan, D., Keane, M., Kelliher, D., Hitchcock, R. (2004). Improving building operation by tracking performance metrics throughout the building lifecycle (BLC). *Energy and Buildings* 36, pp 1075–1090.
- Pachauri, S., Spreng, D. (2003). Energy use and energy access in relation to poverty. CEPE Working Paper Nr. 25. Centre for Energy Policies and Economics. Swiss Federal Institutes of Technology. Zürich.
- Pardo, N., Vatopoulos, K., Krook-Riekkola, A., Moya, J. A., Perez, A. (2012). *Heat and cooling demand and market perspective- JRC Scientific and Policy Reports*. European Commission.
- Parsons, K. (2010). Thermal comfort in buildings. *Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings*, pp 127-147.
- Parsons, K. (2014). Thermal Comfort. Human Thermal Environments: The effects of Hot, Moderate and Cold Environments on Human Health, *Comfort and Performance*, pp 257-287.
- PORDATA. (2013). *O que são NUTS?*. PORDATA. Disponível em: <http://www.pordata.pt/O+que+sao+NUTS>, consultado em: 4/04/2017
- PORDATA. (2016). *Europe – Environment, Energy and Territory*. PORDATA. Disponível em: www.pordata.pt; consultado a: 4/04/2017
- Preston, I., White, V., Blacklaws, K., Hirsh, D. Fuel and poverty: a rapid evidence assessment for the Joseph Rowntree Foundation: technical report. Centre Sustainable Energy. Bristol

- Price, C. W., Brazier, K., Wand, W. (2012). Objective and subjective measures of fuel poverty, *Energy Policy* 49, pp 33–39.
- PVSites. (2016). European climate zones and bio-climatic design requirements. Project Report Bear-ID, Nobatel, Setembro 2016. Disponível em: www.pvsites.eu, consultado a: 4/04/2017
- Pye, S., Dobbins, A. (2015). *Energy poverty and vulnerable consumers in the energy sector across the EU: analysis of policies and measures – Policy Report*. INSIGHT_E
- Raw, G. J., Oseland, N. A. Why another thermal comfort conference? Thermal comfort: past, present and future. *The Building Research Establishment*. pp 1–10.
- Reddy, T., Maor, I., Panjapornporn, C. (2007). Calibrating detailed building energy simulation programs with measured data—Part I: general methodology. *HVAC&R Res* 13, pp 221–241.
- Rescue. (2014). *EU district cooling market and trends*. Work Package 2. Rescue – Renewable Smart Cooling for Urban Europe. Project. Disponível em: http://www.rescue-project.eu/fileadmin/user_files/WP2_Reports/RESCUE_WP_2.3_EU_COOLING_MARKET.pdf, consultado a: 4/04/2017
- Rosen, M. (2009). Energy Sustainability: A Pragmatic Approach and Illustrations. *Sustainability* 1, pp 55-80
- Rudge, J., Gilchrist, R. (2007). Measuring the health impact of temperatures in dwellings: Investigating excess winter morbidity and cold homes in the London Borough of Newham. *Energy and Buildings* 39, pp 847–858
- Ryan, E., Sanquist, T., Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions, *Energy and Buildings* 47, pp 375–382.
- Selfenergy. (2012). Matriz Energética de Cascais de 2010. Câmara Municipal de Cascais. Cascais, Portugal.
- Semenza, J. C., Rubin, C.H., Falter, K. H., Selanikio, J. D., Flanders, W. D., Howe, H. L., Wilhelm, J. L. (1996). Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *N Engl J Med* 335, pp 84 –90.
- Serrano, S., Ürge-Vorsatz, D., Barreneche, C., Palacios, A., Cabeza, L. (2017). Heating and cooling energy trends and drivers in Europe. *Energy* 119, pp 425-434
- Shimoda, Y., Fujii, T., Morikawa, T., Mizuno, M. (2004). Residential end-us energy simulation at city scale. *Building and Environment* 39, pp 959–967.
- Simões, G. S., Gregório, V., Seixas, J. (2016). Mapping fuel poverty in Portugal. *Energy Procedia* 106, pp 155 – 165
- Simões, S., Gregório, V., Fortes, P., Seixas, J. (2015). Manual para Avaliação da Vulnerabilidade Climática do Parque Residencial Edificado. ClimAdaPT.Local – Estratégias Municipais de Adaptação às Alterações Climáticas. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa
- Singh, M.K., Attia, S., Mahapatra, S., Teller, J. (2016). Assessment of thermal comfort in existing pre-1945 residential building stock. *Energy* 98, pp 122-134
- Sookchaiya, T., MonyakuM, V., Thepa, S. (2010). Assessment of the thermal environment effects on human comfort and health for the development of novel air conditioning system in tropical regions. *Energy and Buildings* 42, pp 1692–1702

- Steemers, T., Lewis, J. O., Goulding, J. R. (1992). *Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook* BT Batsford for the Commission of the European Communities. Directorate General XII for Science, Research and Development
- Sunikka-Blank, M., Galvin, R. (2012). Introducing the prebound effect: the *gap* between performance and actual energy consumption. *Building Research & Information* 40, pp 260–273
- Swan, L.G., Ugursal, V.I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: a review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, pp 1819–1835
- Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S., Dobbela, A. V. (2013). A review into thermal comfort in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26, pp 201–215
- Thomson, H. (2013). The EU Fuel Poverty Toolkit: an Introductory Guide to Identifying and Measuring Fuel Poverty. Technical Report, University of York
- Thomson, H., Snell, C., (2014). *Fuel Poverty Measurement in Europe: A Pilot Study*. The University of York
- Tiwari, R., Pandey, M., Sharma, A. (2010). An Approach to Human Adaptability towards its Built Environment: A Review. *Energy and Buildings* 68, pp 547–557
- Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F., Serrano, S., Barreneche, C., Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41, pp 85–98
- Wagner, A., Gossauer, E., Moosman, C., Gropp, T., Leonhart, R. (2007). Thermal comfort and workplace occupant satisfaction — results of field studies in German low energy office buildings. *Energy and Buildings* 39, pp 758–769.
- Werner, S. (2015). European space cooling demands. *Energy* 110, pp 148–156
- WHE. (s/d). *Political Divisions of Portugal*. World Heritage Encyclopedia. Disponível em: http://www.gutenberg.us/articles/political_divisions_of_portugal, consultado a: 4/04/2017
- WHO. (2012). *Environmental Health Inequalities in Europe: Assessment Report*. World Health Organization.
- Wilde, P. (2014). The *gap* between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation. *Automation in Construction* 41, pp 40–49.
- Wilkinson, P., Smith, K., Joffe, M., Haines, A. (2007). A global perspective on energy: health effects and injustices. *The Lancet* 370, pp 965–978.
- Yang, L., Yan, H., Lam, J. C. (2013). Thermal comfort and building energy consumption implications – A review. *Applied Energy* 115, pp 164–173.
- Yao, R., Li, B., Liu, J. (2009). A theoretical adaptive model of thermal comfort adaptive predicted mean vote (aPMV). *Building and Environment* 44, pp 2089–2096.
- Yu, Z., Haghighat, F., Fung, B., Morofsky, B., Yoshino, H. (2011). A methodology for identifying and improving occupant behaviour in residential buildings, *Energy* 36, pp 6596–6608.

Anexo A - Metodologia de determinação das necessidades de aquecimento e arrefecido, estabelecidas no REH.

Necessidades de aquecimento

Descreve-se de seguida as expressões de cálculo dos parâmetros não apresentadas na metodologia, mas que ainda assim foram utilizados para a determinação das necessidades teóricas de aquecimento.

A fórmula de cálculo da transferência de calor por ventilação correspondente à renovação do ar interior é idêntica à por transmissão (equação A1):

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i} \quad [kWh] \quad (\text{equação A1})$$

No entanto o coeficiente global de transferência de calor por ventilação ($H_{ve,i}$) é obtido através da equação A2:

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d \quad [W/^{\circ}C] \quad (\text{equação A2})$$

Na qual $R_{ph,i}$ é a Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento, [h⁻¹], considerada 0.4 para a estação de aquecimento; A_p corresponde à área interior útil de pavimento, medida pelo interior, [m²], e P_d é o pé direito médio da fração, [m].

Por sua vez, os ganhos térmicos úteis são calculados multiplicando os ganhos térmicos brutos e o fator de utilização desses ganhos (equação A3):

$$G_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{gi} \quad [kWh] \quad (\text{equação A3})$$

Em que η_i representa o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento e Q_{gi} são os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, [kWh].

A forma como o fator de utilização é calculado depende do parâmetro γ , determinado com a equação A4:

$$\gamma = Q_g / (Q_{tr} + Q_{ve}) \quad (\text{equação A4})$$

Assim,

- Se $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (\text{equação A5})$$

- se $\gamma = 1$

$$\eta = \frac{a}{a + 1} \quad (\text{equação A6})$$

- se $\gamma < 0$

$$\eta = \frac{1}{\gamma} \quad (\text{equação A7})$$

O parâmetro a é função da classe de inércia térmica do edifício, sendo igual a um dos seguintes valores:

- 1,8 – se se tratar de um edifício com inércia térmica fraca [W/°C];
- 2,6 – se se tratar de um edifício com inércia térmica média [W/°C];
- 4,2 – se se tratar de um edifício com inércia térmica forte [W/°C];

Os ganhos térmicos brutos são determinados pela soma entre os ganhos térmicos internos e solares (equação A8):

$$G_{gu,i} = G_{int,i} + G_{sol,i} \quad [kWh] \quad (\text{equação A8})$$

Na qual $G_{int,i}$ corresponde aos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, [kWh], e $G_{sol,i}$ são os Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, [kWh].

Os ganhos internos são obtidos através da equação A9:

$$G_{int,i} = 0,72q_{int} \cdot M \cdot A_p \quad [kWh] \quad (\text{equação A9})$$

Na qual q_{int} são os ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a 4 W/m²; M é a duração média da estação convencional de aquecimento, [mês]; e A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²].

Os ganhos solares brutos são calculados através da equação A10:

$$G_{sol,i} = G_{Sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,inj} \cdot A_{s,inj} \right] \cdot M \quad [kWh] \quad (\text{equação A10})$$

G_{Sul} é o valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície, [kWh/m².mês]; X_j corresponde ao fator de orientação para as diferentes exposições; $F_{s,inj}$ é o fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento; $A_{s,inj}$ é a área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j , [m²]; j é o índice que corresponde a cada uma das orientações; n é o índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j ; e M representa a duração média da estação convencional de aquecimento, [mês].

A área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado é obtida através equação A11:

$$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad [m^2] \quad (\text{equação A11})$$

Em que A_w corresponde à área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, [m²]; F_g é a fração envidraçada do vão envidraçado e g_i é o fator solar de inverno.

Necessidades de arrefecimento

Descreve-se de seguida as expressões de cálculo dos parâmetros não apresentadas na metodologia, mas que ainda assim foram utilizados para a determinação das necessidades teóricas de arrefecimento.

A transferência de calor por ventilação é calculada por expressão da equação A12:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v / 1000 \quad [kWh] \quad (\text{equação A12})$$

O coeficiente global de transferência de calor por ventilação é determinado de forma análoga para a estação de arrefecimento, como foi determinado para a estação de aquecimento. A única diferença reside no valor utilizado para a taxa nominal de renovação do ar interior ($R_{ph,i}$). Foi considerado que ocorre a renovação de 60% do ar interior por hora, ou seja, uma taxa nominal de renovação de 0.6, o que constitui o valor mínimo de referência para esta estação.

Relativamente aos ganhos térmicos brutos, a expressão de cálculo é igual à expressão utilizada para a estação de aquecimento, ou seja, resultam da soma dos ganhos associados a fontes internas de calor e à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada solares.

A expressão para o cálculo dos ganhos internos está representada na equação A13:

$$G_{int,i} = q_{int} \cdot A_p \cdot L_v / 1000 \quad [kWh] \quad (\text{equação A13})$$

Em que q_{int} corresponde aos ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície igual a 4 W/m^2 ; A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, $[\text{m}^2]$; L_v é a duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas.

Por sua vez, os ganhos solares são obtidos através da seguinte fórmula:

$$G_{sol,i} = \sum_j \left[G_{sol} \cdot \sum_n F_{s,inj} \cdot A_{s,inj} \right] \quad [kWh] \quad (\text{equação A14})$$

Em que G_{sol} representa a energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante toda a estação de arrefecimento, $[\text{kWh/m}^2]$; $A_{s,inj}$ é a área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com a orientação j , $[\text{m}^2]$; j é o índice correspondente a cada uma das orientações por octante e à posição horizontal; n é o índice correspondente a cada um dos elementos opacos e envidraçados com a orientação j ; e $F_{s,inj}$ é o fator de obstrução da superfície do elemento n , com a orientação j .

A área efetiva coletora de radiação solar é determinada de acordo com a equação A15:

$$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad [\text{m}^2] \quad (\text{equação A15})$$

Em que A_w corresponde à área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, $[\text{m}^2]$; F_g é a fração envidraçada do vão envidraçado, e g_i é o fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento.

A transferência de calor por ventilação é calculada por expressão análoga à anterior:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v / 1000 \quad [kWh] \quad (\text{equação A16})$$

O coeficiente global de transferência de calor por ventilação é determinado de forma análoga para a estação de arrefecimento, como foi determinado para a estação de aquecimento. A única diferença reside no valor utilizado para a taxa nominal de renovação do ar interior ($R_{ph,i}$). Foi considerado que ocorre a renovação de 60% do ar interior por hora, ou seja, uma taxa nominal de renovação de 0.6, o que constitui o valor mínimo de referência para esta estação.

Relativamente aos ganhos térmicos brutos, a expressão de cálculo é igual à expressão utilizada para a estação de aquecimento, ou seja, resultam da soma dos ganhos associados a fontes internas de calor e à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada solares.

A expressão para o cálculo dos ganhos internos é a seguinte:

$$G_{int,i} = q_{int} \cdot A_p \cdot L_v / 1000 \quad [kWh] \quad (\text{equação A17})$$

Em que q_{int} corresponde aos ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície igual a 4 W/m^2 ; A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, $[\text{m}^2]$; L_v é a duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas.

Por sua vez, os ganhos solares são obtidos através da seguinte fórmula:

$$G_{sol,i} = \sum_j \left[G_{sol} \cdot \sum_n F_{s,inj} \cdot A_{s,inj} \right] \quad [kWh] \quad (\text{equação A18})$$

Em que G_{sol} representa a energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante toda a estação de arrefecimento, $[kWh/\text{m}^2]$; $A_{s,inj}$ é a área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com a orientação j , $[\text{m}^2]$; j é o índice correspondente a cada uma das orientações por octante e à posição horizontal; n é o índice correspondente a cada um dos elementos opacos e envidraçados com a orientação j ; e $F_{s,inj}$ é o fator de obstrução da superfície do elemento n , com a orientação j .

A área efetiva coletora de radiação solar é determinada de acordo com a seguinte expressão:

$$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad [\text{m}^2] \quad (\text{equação A19})$$

Em que A_w corresponde à área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, $[\text{m}^2]$; F_g é a fração envidraçada do vão envidraçado, e g_i é o fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento.

Anexo B – Mapa da área média de um alojamento das várias tipologias consideradas e da área total dos alojamentos

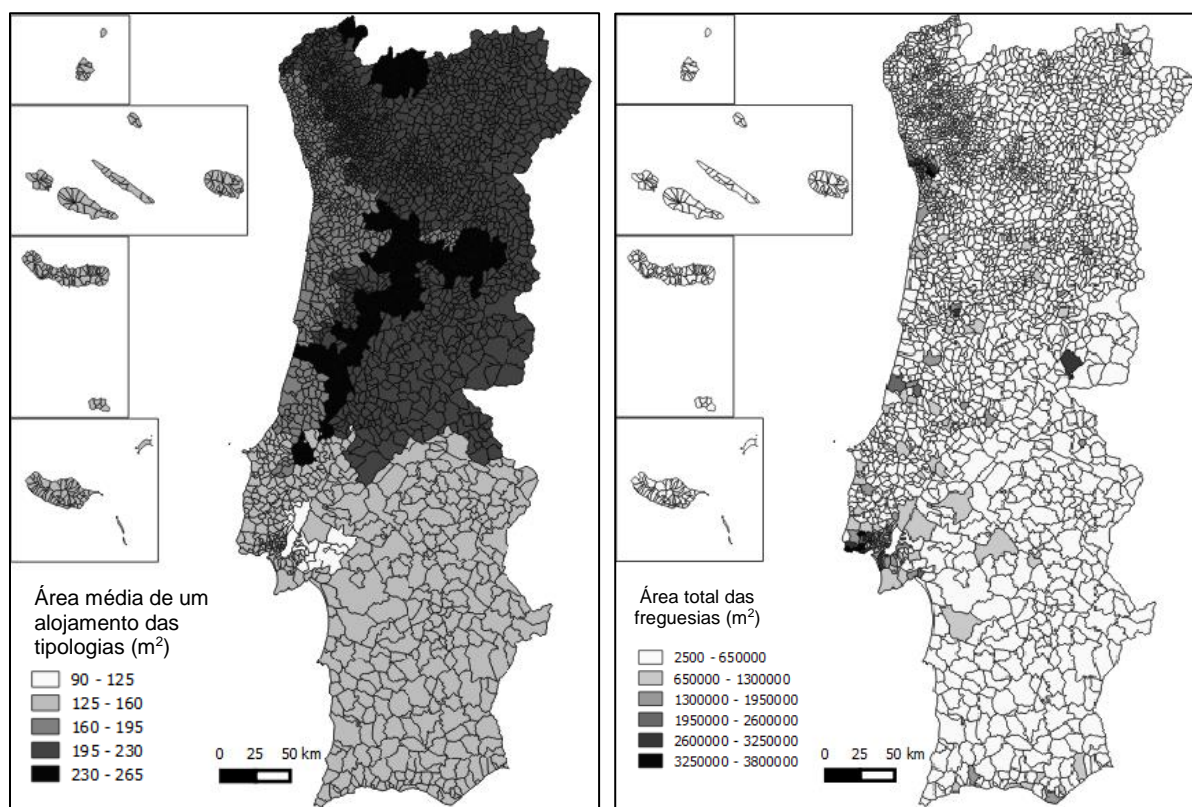


Figura B1 - Área média de um alojamento das várias tipologias (m²)(esquerda) e área total dos alojamentos (m²) (direita), por freguesia

Anexo C – Mapas da distribuição do número de alojamentos

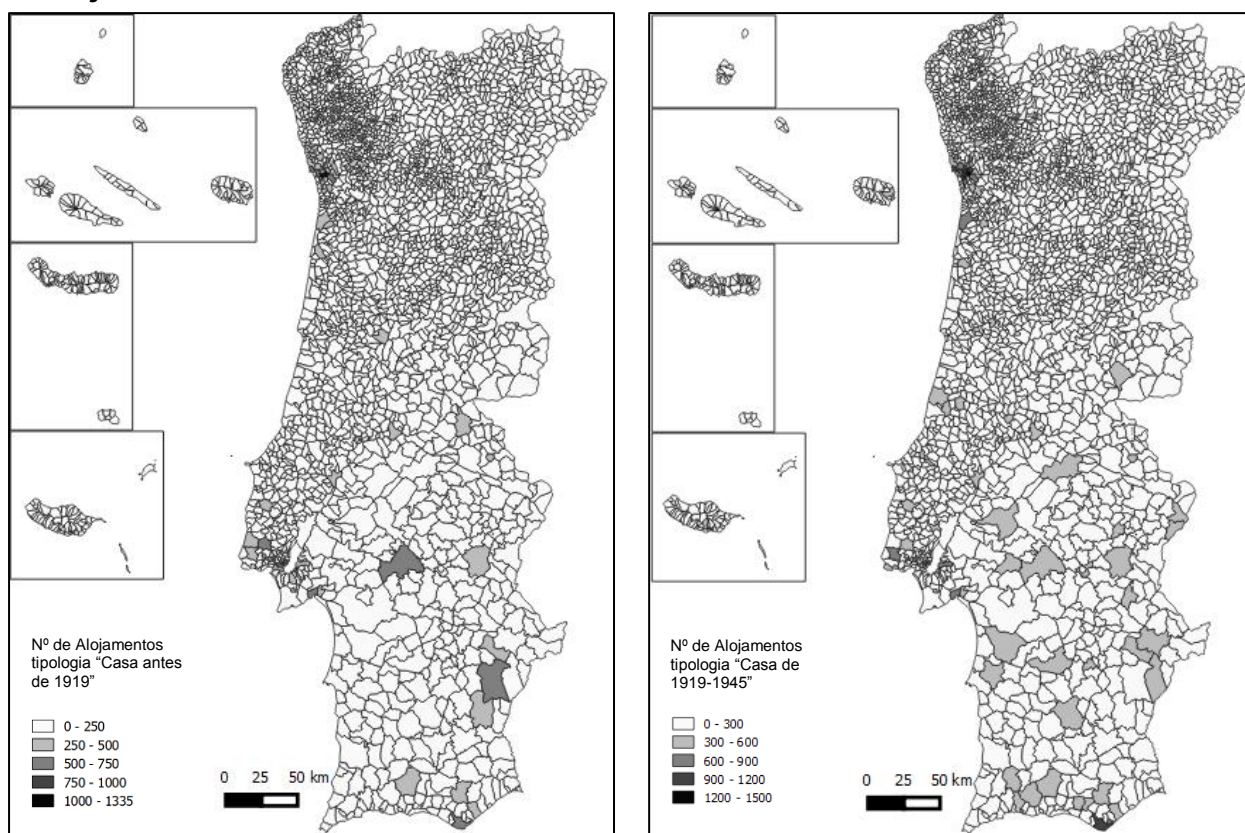


Figura C1 - N° de alojamentos da tipologia "Casa de período antes de 1919" e da tipologia "Casa 1919-1945"

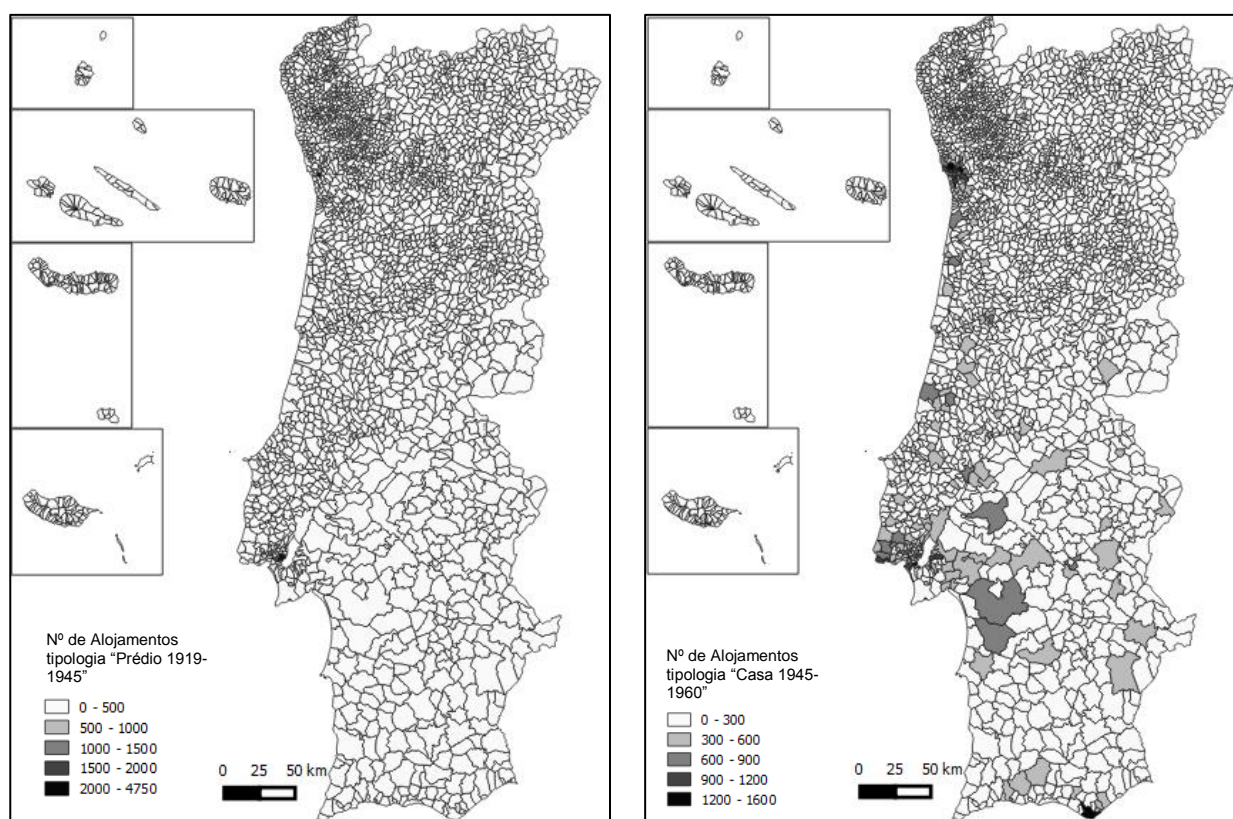


Figura C2 - N° de alojamentos da tipologia "Prédio 1919-1945" e da tipologia "Casa 1945-1960"

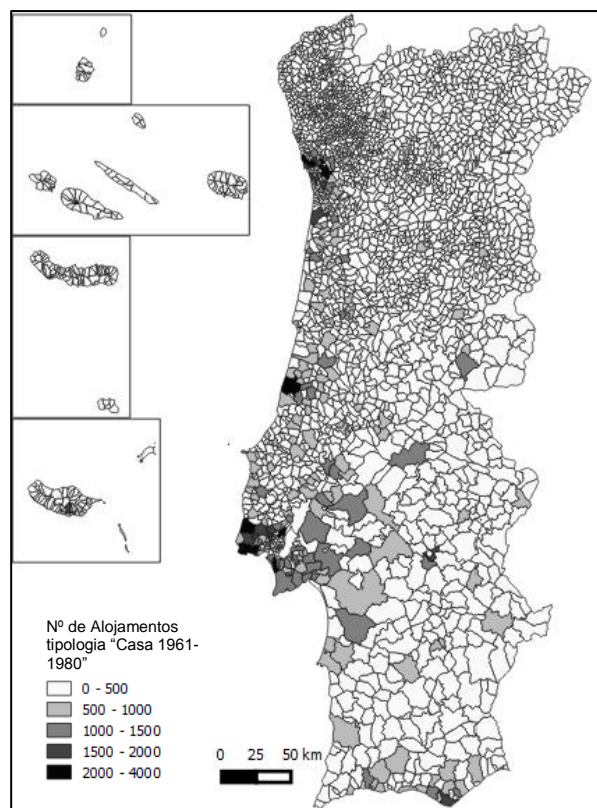
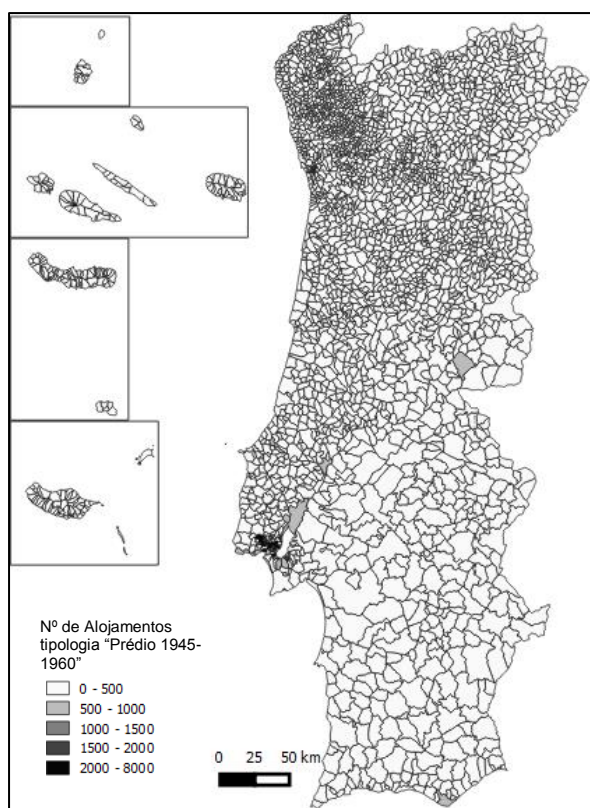


Figura C3 - Nº de alojamentos da tipologia "Prédio 1945 -1960" e da tipologia "Casa 1961-1980"

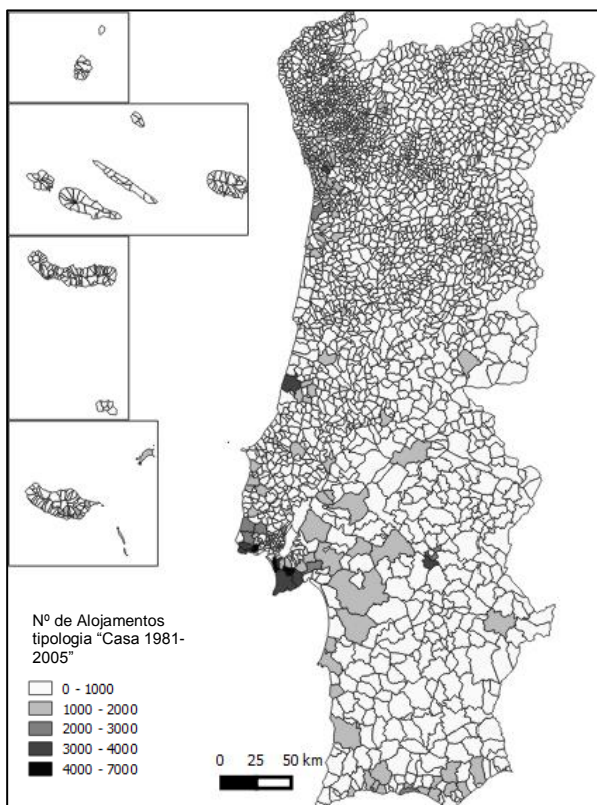
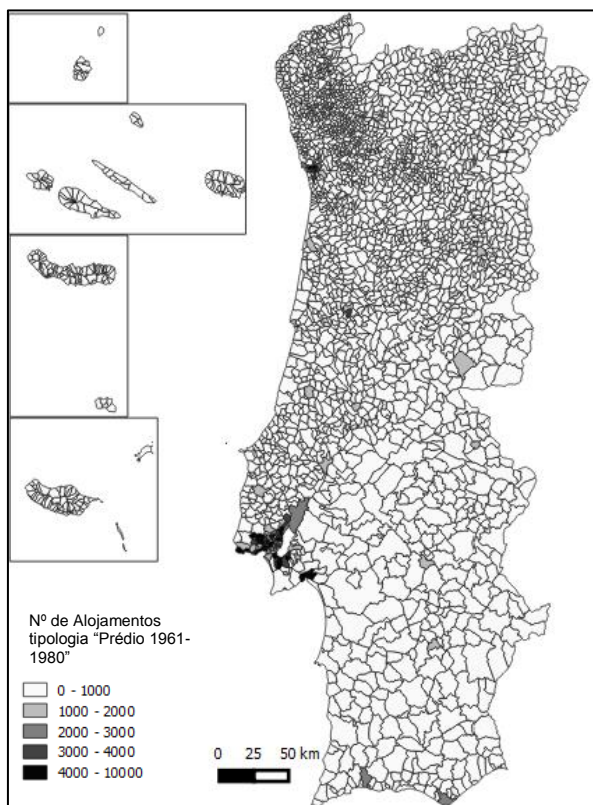


Figura C4 - Nº de alojamentos da tipologia "Casa 1961-1980" e da tipologia "Casa 1981-2005"

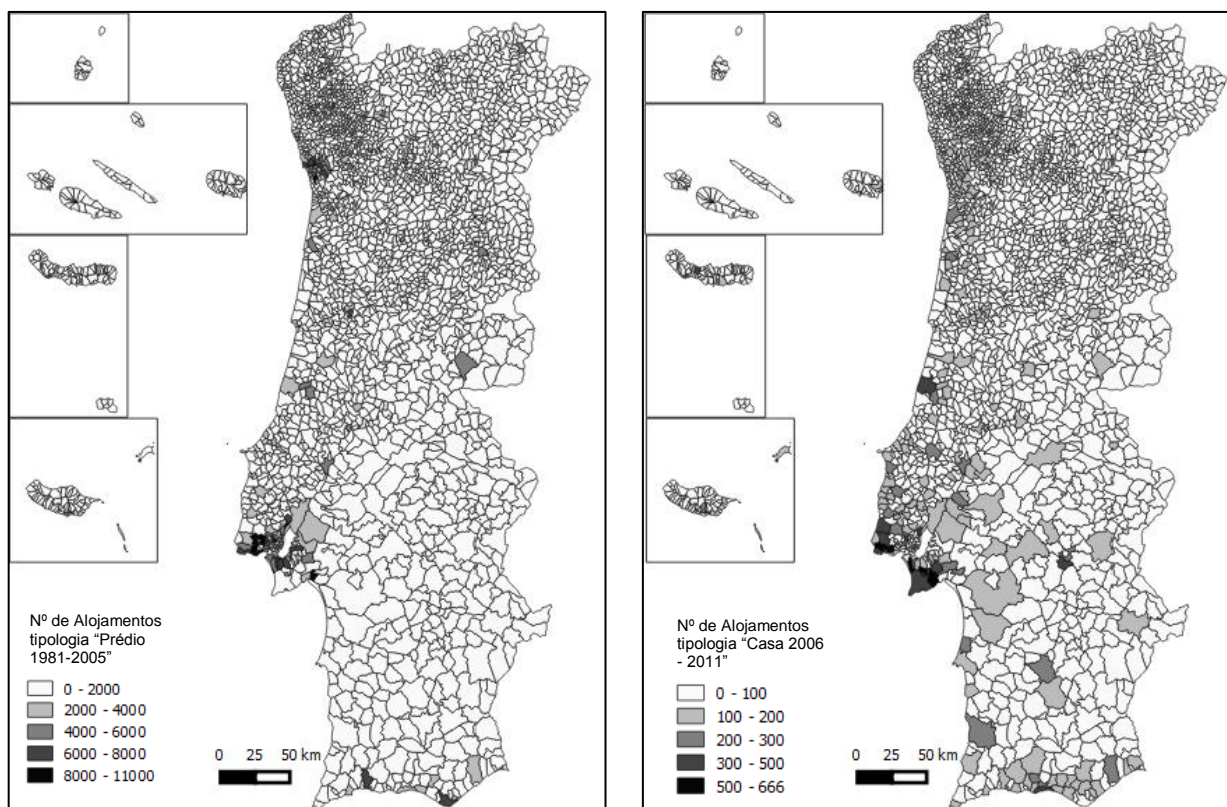


Figura C5 - Nº de alojamentos da tipologia "Prédio 1981-2005" e da tipologia "Casa 2006-2011"

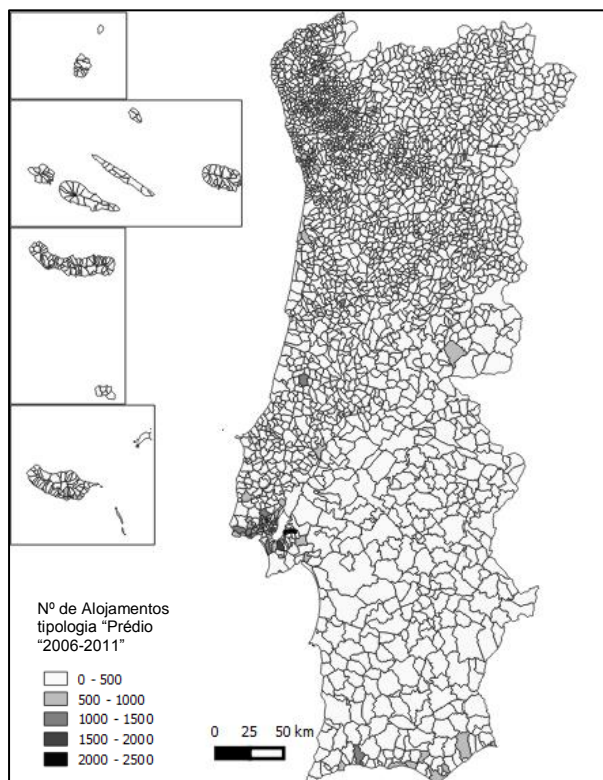


Figura C6 - Nº de alojamentos da tipologia "Prédio 2006-2011"

Anexo D – Mapas das taxas de posse de equipamentos de aquecimento

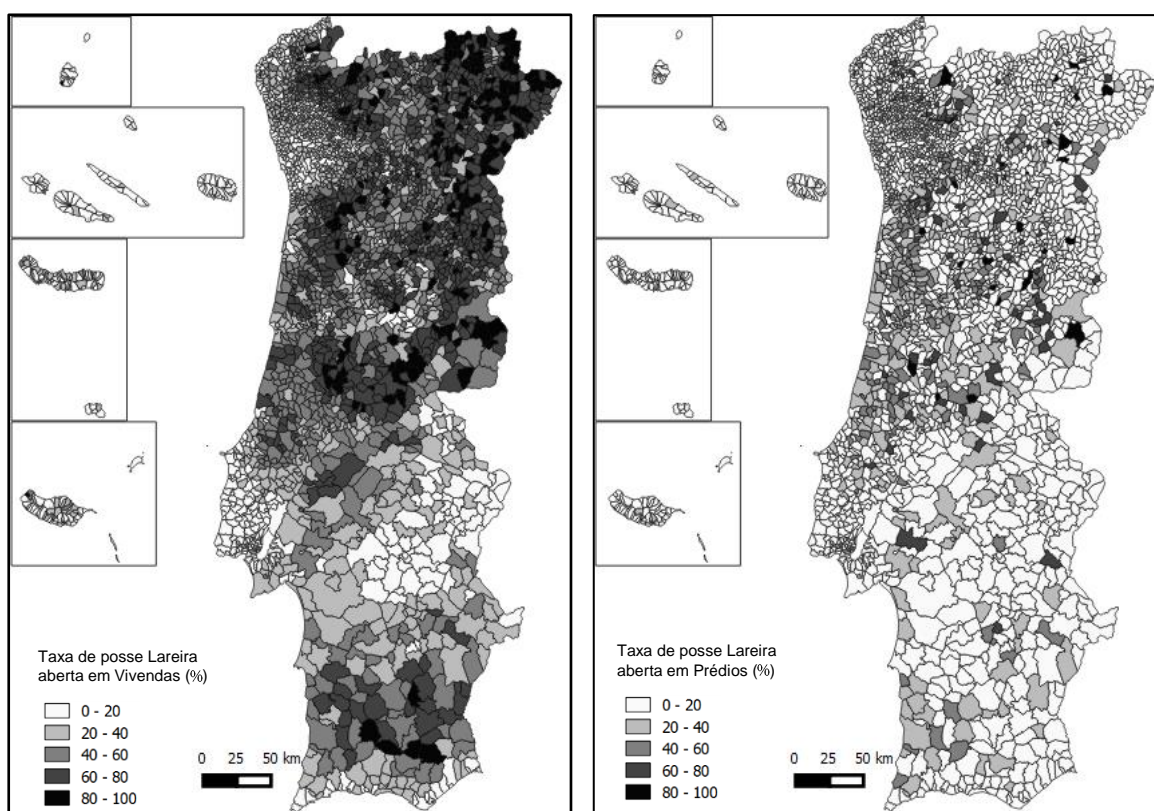


Figura D1 - Taxa de posse de Lareira aberta em vivendas (esquerda) e prédios (direita) (%)

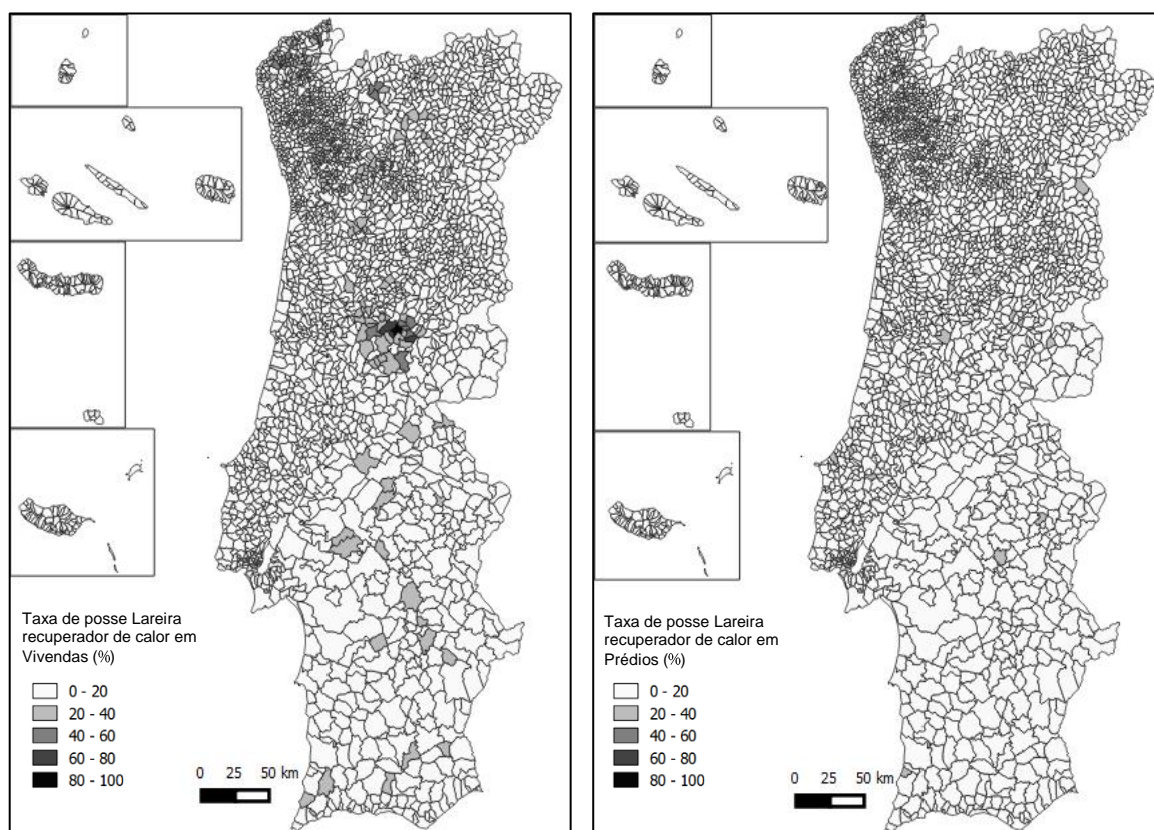


Figura D2 - Taxa de posse de Lareira com recuperador de calor em vivendas (esquerda) e prédios (direita) (%)

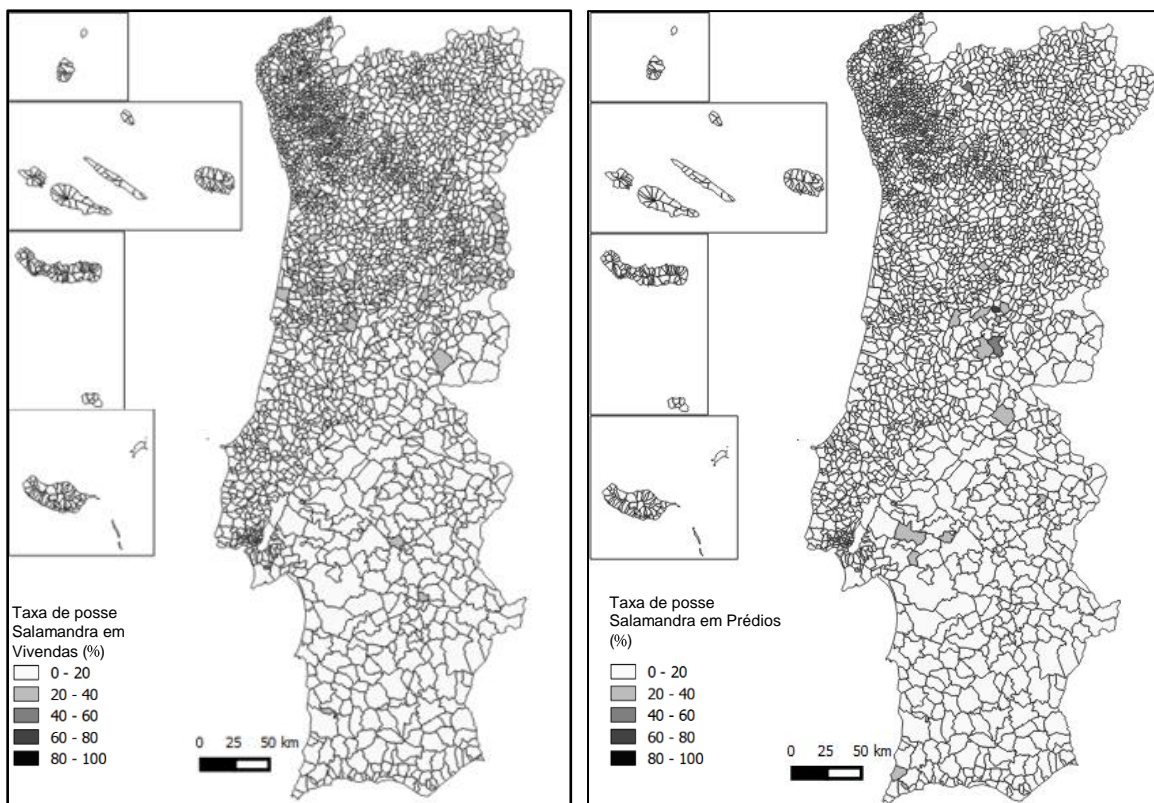


Figura D3 - Taxa de posse de Salamandras em vivendas (esquerda) e prédios (direita) (%)

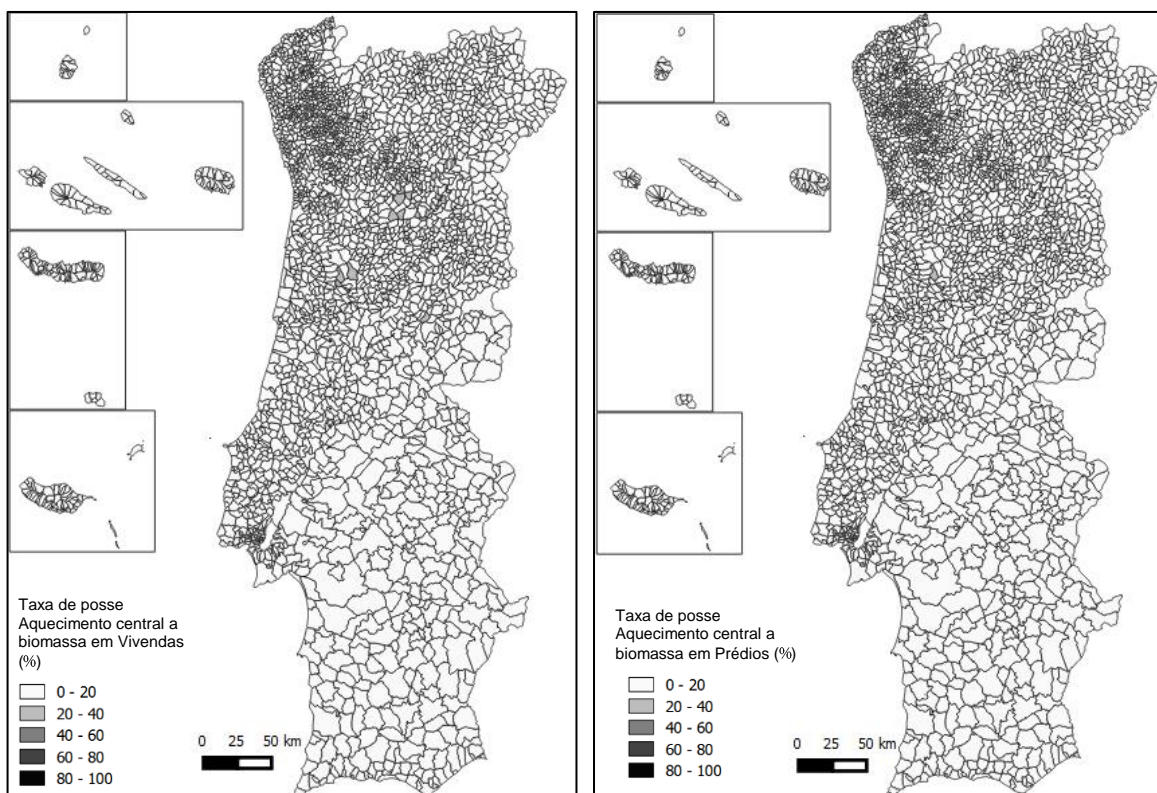


Figura D4 - Taxa de posse de Aquecimento central a biomassa em vivendas (esquerda) e prédios (direita) (%)

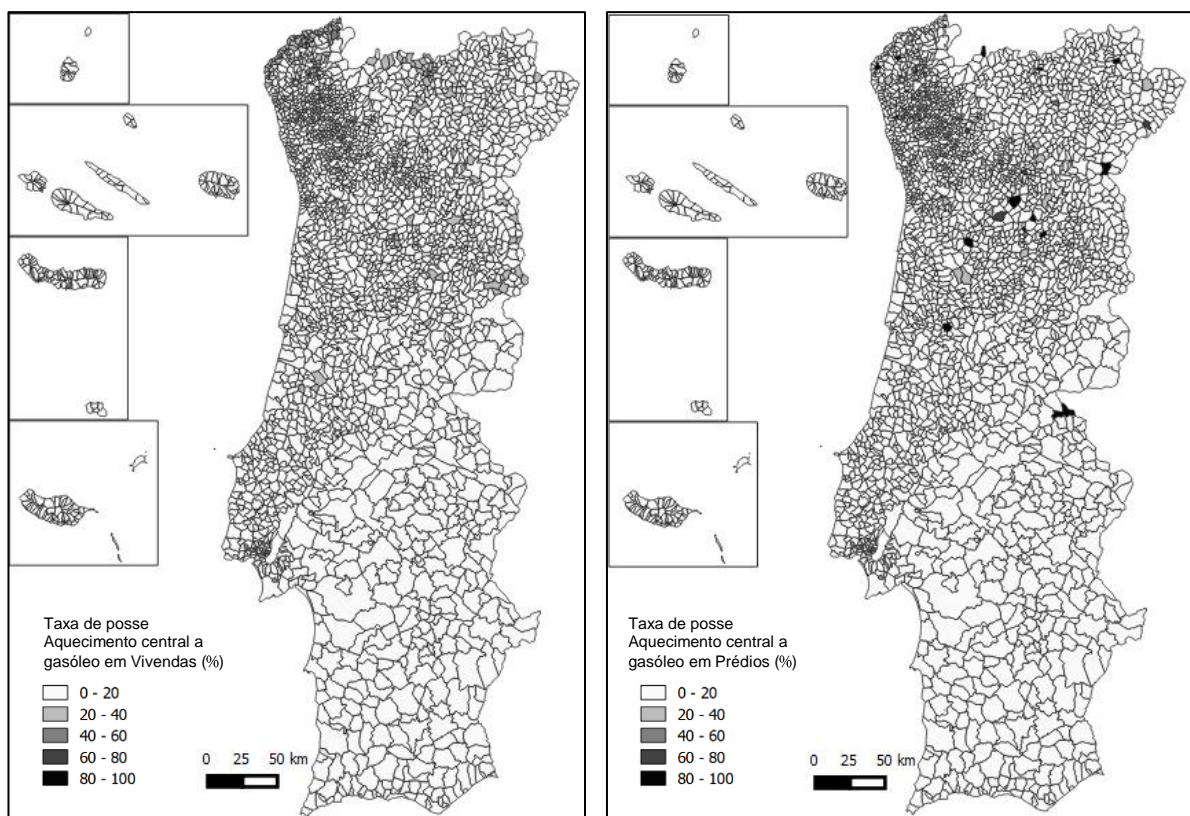


Figura D5 - Taxa de posse de aquecimento central a gasóleo em vivendas (esquerda) e prédios (direita) (%)

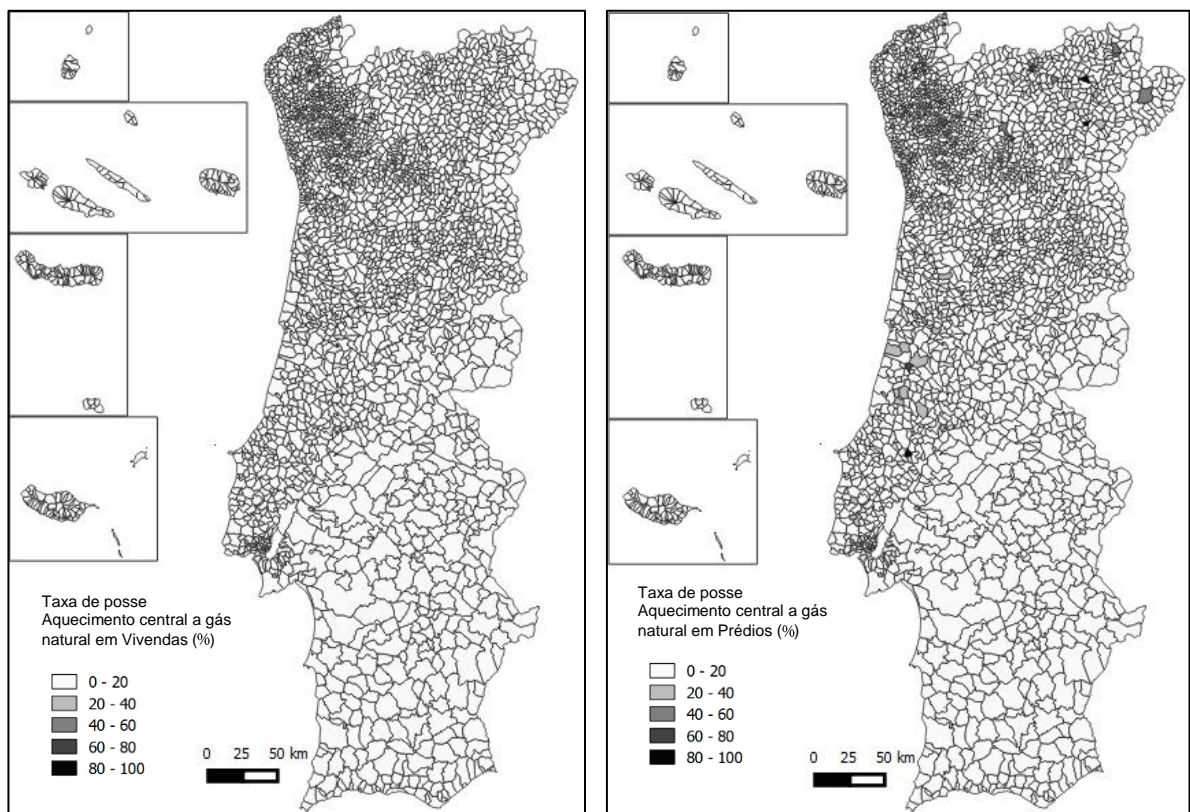


Figura D6 - Taxa de posse de aquecimento central a gás natural em vivendas (esquerda) e prédios (direita) (%)

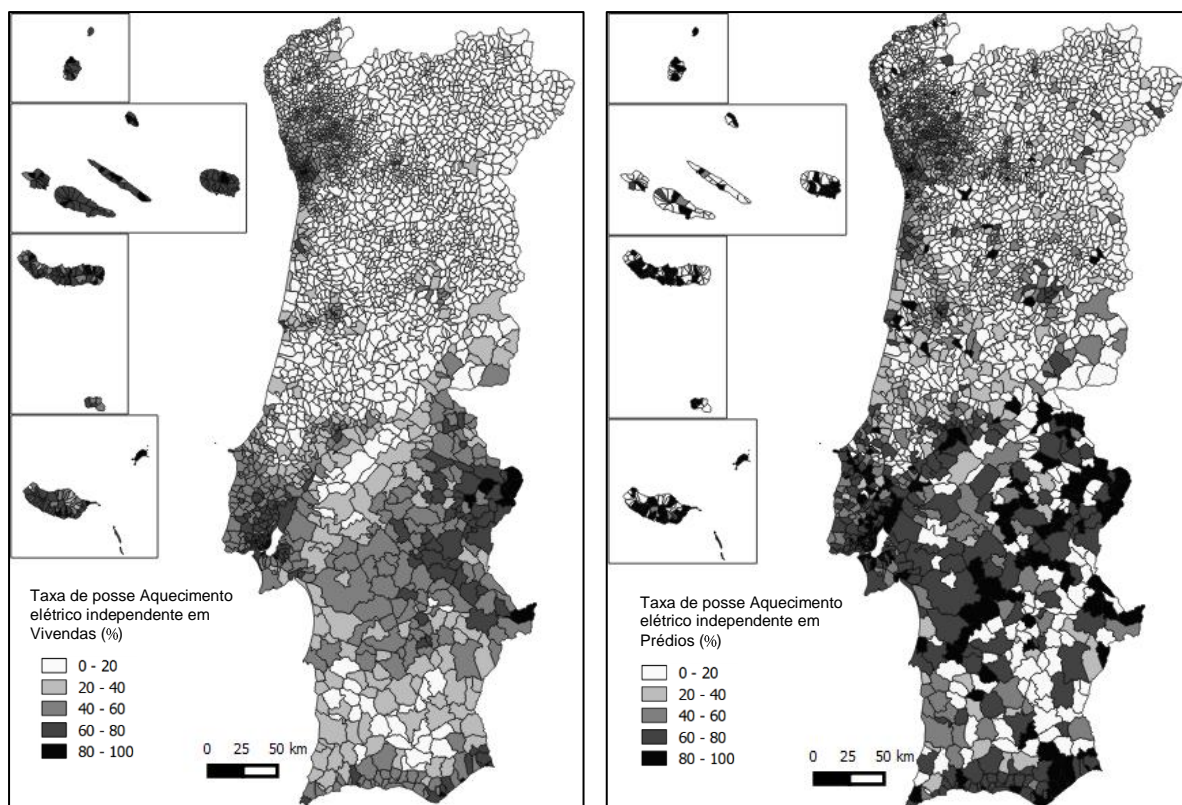


Figura D7 - Taxa de posse de aquecimento elétrico independente em vivendas (esquerda) e prédios (direita) (%)

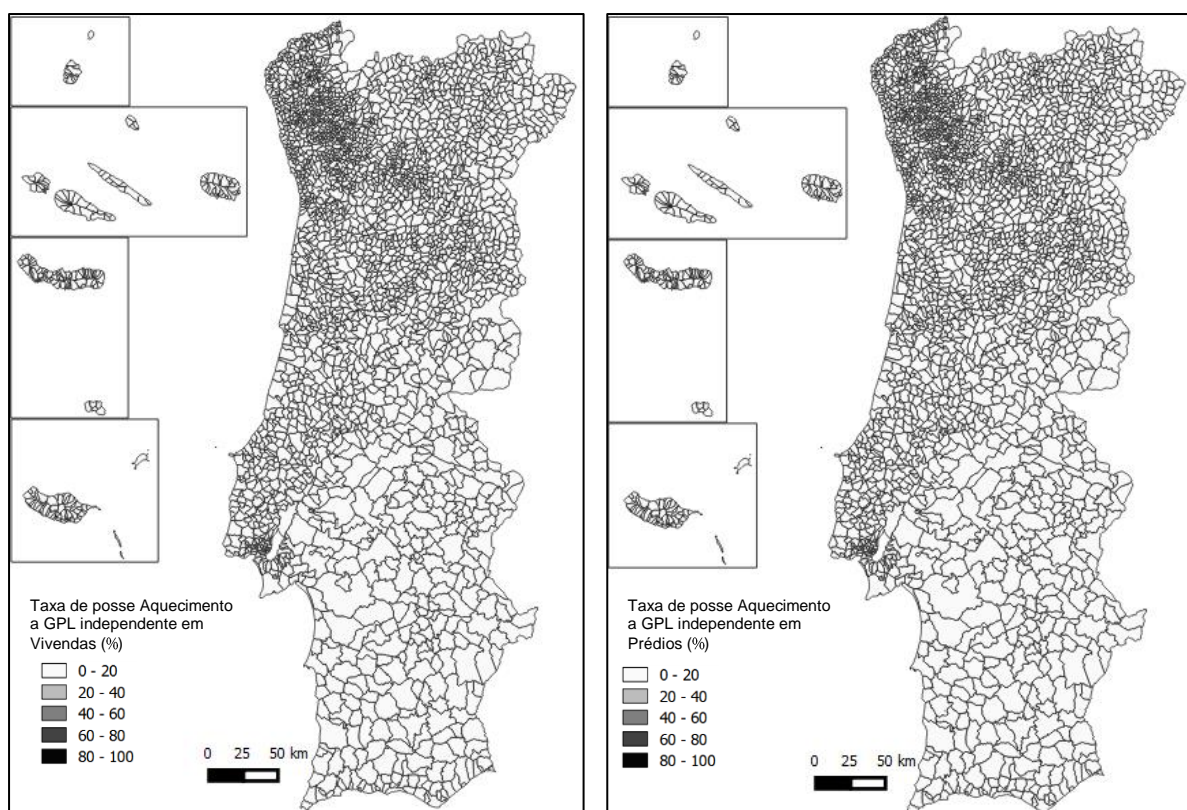


Figura D8- Taxa de posse de aquecimento elétrico independente em vivendas (esquerda) e prédios (direita) (%)

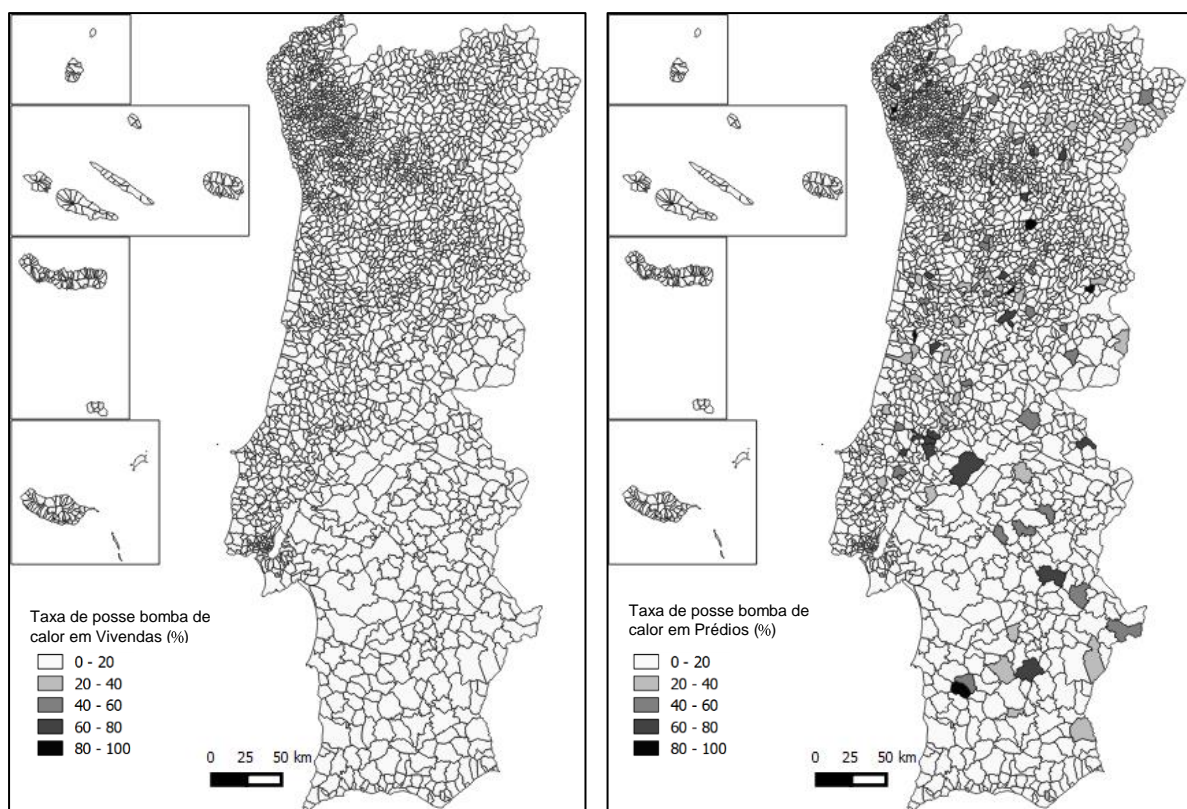


Figura D9 - Taxa de posse de bomba de calor em vivendas (esquerda) e prédios (direita) (%)